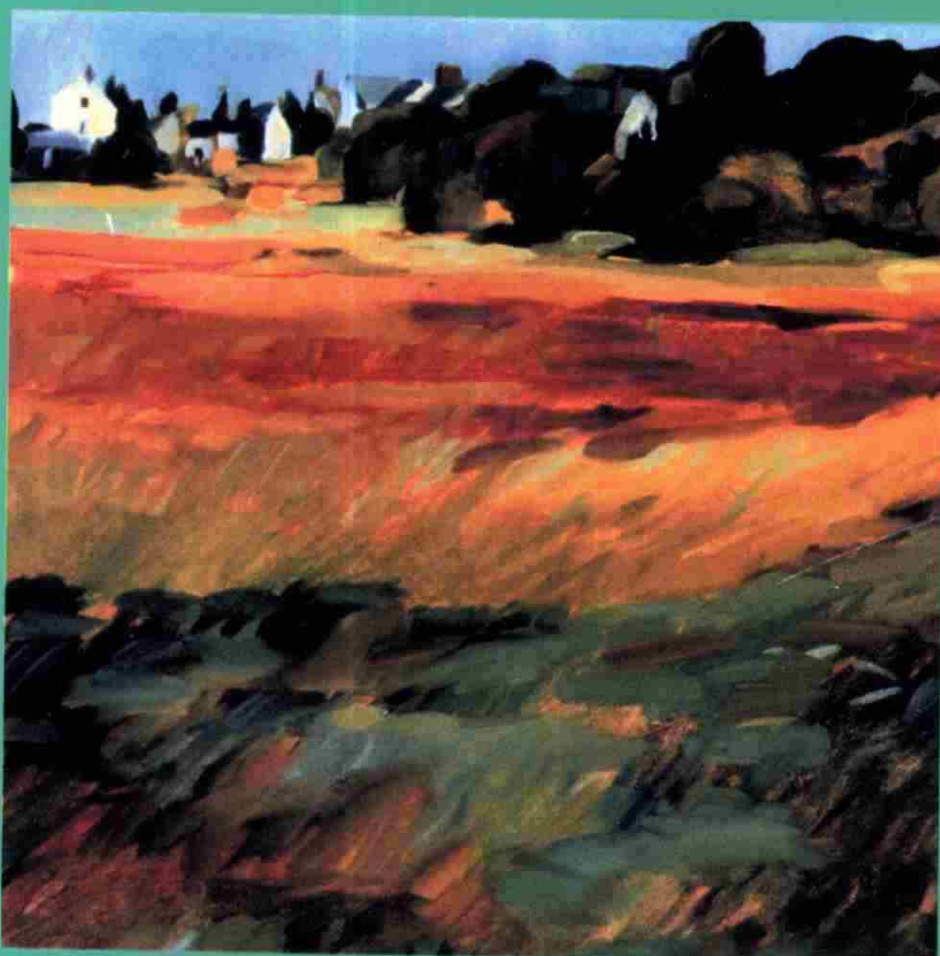
انتشارات دانشگاه
کردستان

سرشت و خصوصیات خاکها

چاپ اول



تالیف: N. C. Brady
R. R. Weil
برگردان : دکتر سید صابر شاهویی
عضوهیات علمی دانشکده کشاورزی
دانشگاه کردستان



دانشگاه کردستان

سرشت و خصوصیات خاک ها

تألیف: Brady, N. C, and R. R. Weil

برگردان: دکتر سید صابر شاهویی

عضو هیات علمی دانشکده کشاورزی

دانشگاه کردستان

ناشر

انتشارات دانشگاه کردستان

برادی، نایل 1920 Brady, Nyle, C.
سرشت و خصوصیات خاکها/ تألیف (نایل برادی، ری ویل)؛ ترجمه صابر شاهویی، ویراستاران علمی حمید سیادت، آهنگ کوثر. کردستان: دانشگاه کردستان.
ح، ۸۳۹ VIII ص.: مصور، نقشه، جداول، نمودار.
ISBN 964- 96239- 0- 6 : ۷۵۰۰۰ ریال
فهرست نویسی براساس اطلاعات فیپا
کتابنامه،
۱- خاکشناسی. ۲- خاک. الف. ویل، ری، ۱۹۴۸- م.، Weil, Ray. R
ب، شاهویی، صابر، ۱۳۲۴-، مترجم- ج. عنوان.
4 س 44 ب / S591 ۶۳۱،۴
کتابخانه ملی ایران ۸۴-۴۵۲۹۴ م

شناسنامه کتاب

نام کتاب: سرشت و خصوصیات خاکها
مؤلف: سی. نایل برادی و ار. ار. ویل
مترجم: سید صابر شاهویی
چاپ اول: ۱۳۸۵
تیراژ: ۲۰۰۰ جلد
تعداد صفحات: ۹۰۰ صفحه
ویراستار: دکتر آهنگ کوثر
شابک: ۶-۰-۹۶۲۳۹-۹۶۴
مجوز: ۷۰۷۷ مورخ ۸۵/۲/۵ اداره کل فرهنگ و ارشاد اسلامی استان کردستان
چاپ: لیتوگرافی آبرنگ
قطع: رحلی
ناشر: انتشارات دانشگاه کردستان (۸-۶۶۶۰۰۷۶ و تلفکس ۶۶۲۴۰۰۱) سنندج- بلوار پاسداران- خیابان دانشگاه- دانشگاه کردستان
قیمت: ۷۵۰۰۰ ریال

فهرست و مطالب

تقدیم به روان پاک و روح بزرگ برادرم

زنده یاد محمد رشید شاهویی

که بذر تحصیل علم و کسب کمال را در خانواده کاشت و

عمرکوتاهش مجال دیدار مزرعه ی سبزش را به او نداد.

مقدمه

یک دانش پایه از علم خاک‌شناسی برای مقابله با چالش‌های بسیاری در منابع طبیعی که بشر در قرن ۲۱ با آن مواجه خواهدبود یک پیش‌نیاز است، ما همچنین معتقدیم که مطالعهٔ خاک‌ها هم مجذوب‌کننده و هم از نظر فکری قانع‌کننده می‌باشد. خاک یک نظام مطلوب بدست می‌دهد که در آن می‌توان کاربرد عملی اصول اساسی بیولوژی، شیمی، فیزیک را مشاهده کرد همچنین این اصول می‌توانند برای به‌حداقل‌رساندن تخریب و ازبین‌رفتن خاک، یکی از مهمترین منابع طبیعی، مورد استفاده قرار گیرد.

در این چاپ جدید کتاب کلاسیک خاک‌شناسی، اولویت ما تشریح اصول اساسی علم خاک‌شناسی است طوری‌که برای دانشجویان در رشته‌های مختلف مطالعات مفید باشد. در سرتاسر کتاب، خاک به عنوان یک منبع طبیعی مورد تأکید قرار گرفته و بسیاری تعاملات بین خاک و سایر عناصر بوم‌سامان‌های جنگل، مرتع، کشاورزی، اراضی ماندابی و ساختمان‌سازی روشن گردیده است. ما درک می‌کنیم که برای بعضی از خوانندگان، این کتاب اولین برخورد رسمی با علم خاک‌شناسی خواهد بود، درحالی‌که برای دیگران بیانگر قدم اول در آموزش علم جامع خاک‌شناسی می‌باشد. بنابراین، خواستار نظرات اساتید و دانشجویان هستیم تا به ما کمک نماید که این کتاب را برای هر دو گروه خوانندگان به عنوان یک مقدمهٔ جالب در دنیای جذاب علم خاک‌شناسی و مرجع قابل‌اعتماد و در سال‌های آتی خدمت نماید.

درحالی‌که مجبور بوده‌ایم در بعضی از بخش‌ها جزئیات را برای ایجاد مکان لازم برای سایر عناوین و اطلاعات کاهش دهیم مواظب بوده‌ایم که سطح دقت و کمال که چاپ‌های قبلی را ارزشمند ساخته بود همچنان حفظ نمائیم. مطالب جدید در این چاپ، بخش‌های در کیفیت خاک، تخریب خاک، تناسب خاک برای میدان‌های زهکشی سپتیک، اراضی ماندابی، خاکهای آبدار، خصوصیات مهندسی خاک، جلی‌سول، و سایرتغییرات در رده‌بندی خاک، ضرایب توزیع برای ترکیبات آلی در خاکها، ریزجانداران با مهندسی ژنتیک، عوامل مؤثر در کیفیت لاشبرگ، فن‌آوری کشاورزی دقیق و سایر عناوین موردتوجه امروزی در دانش خاک‌شناسی است. در عکس‌العمل به مقبولیت تابلوها، در چاپ یازدهم تابلوهای جدیدی اضافه کرده‌ایم که مثال‌ها و کاربردهای جالب توجه و یا جزئیات و محاسبات فنی لازم را ارائه می‌نمایند. همانند چاپ قبل کار هنری از دورنگ برای روشن‌شدن شکل‌ها استفاده کرده است که برای خواننده جذاب و آموزنده باشد. ما دریافته‌ایم که مشکلات موجود در فتوکپی‌کردن اشکال برای ایجاد طلق‌های شفاف می‌تواند با استفاده از کم‌رنگ‌ترین درجهٔ فتوکپی برطرف گردد. برای سهولت استفاده از اشکال کتاب در کلاس درس یک دیسک‌فشرده موجود است که شامل نسخه الکترونیکی بیش از ۱۸۰ عدد از اشکال ترسیم‌شده و ۳۵ عدد از تابلوهای رنگی کتاب است بعضی از اشکال در دیسک فشرده به خاطر حفظ حقوق مؤلف هنوز نیامده است.

ما به‌خاطر بسیاری از پیشنهادات سازنده که مرتباً به‌وسیله‌ی نامه یا مراجعهٔ شخصی توسط دانشمندان خاک، معلمین و دانشجویان دریافت می‌داریم سپاسگزاریم. صمیمیت و همراهی ما با دانشجویان و دست‌اندرکاران علم خاک‌شناسی یک منبع باارزش الهام‌بخش است. کتاب از پیشنهادات ارائه شده توسط بسیاری از همکاران بخصوص از دانشگاه‌های سراسر کشور که به پرسشنامه ما در چاپ یازدهم جواب داده‌اند بسیار بهره برده‌است، تحقیقات پرمایه و همکاری در تألیف که توسط Missy stine ، Ashley Gaede ، Rafiq islam ، Joel Gruver انجام گردیده مورد تقدیر فراوان می‌باشد.

ما دوست داریم که تشکرات خاص خود را به همکاران زیر که بخش‌های از کتاب را در جزئیات مورد تجدیدنظر قرار دارند و پیشنهادات ارزشمندی را برای بهبود کتاب ارایه داده‌اند، ابراز داریم.

Susan Davis, Bob Ahrens, Hari swaran, Paul Reich, Sharon Waltman (همگی از سازمان حفاظت منابع طبیعی آمریکا)؛ Charles Tarnocai (از سازمان کشاورزی و غذای کانادا)؛ Robert Hill, Bruce james, Kudjo Dzantor, Delvin Fanning Martin Rabenhorst, Margaret Mayers Norton, (از دانشگاه مریلند)؛ Duane wolf (دانشگاه آرکانزاس)؛ J.Kenneth Torrence (دانشگاه کارلتون) ؛ Dan Ritcher (دانشگاه دوک)؛ Daniel Hillel (دانشگاه ماساچوست)؛ Jimmie Richardson (دانشگاه ایالتی داکوتای شمالی)؛ Murray Milford (دانشگاه T&M تگزاس)؛ Lyle Nilson (دانشگاه ایالتی می سی سی پی)؛ Rattan Lal (دانشگاه ایالتی اروگون)؛ Fred Magdoff ، Wendy Sue Harper (دانشگاه ورمونت)؛ Pedro Sanchez (مرکز بین‌المللی برای تحقیقات اگروفارستری)؛ Darrel G.Schultze (دانشگاه پردو)؛ Joyce Torio (جامعهٔ شیمی آمریکا) و Mike Swift (برنامه حاصلخیزی و بیولوژی یونسکو) در پایان آرزومندیم که تشکرات عمیق خود را از همسرانمان Marta و Trish برای حمایت‌های مستمر و صبر و تحمل آنها در طول ۱۸ ماه که در طی آن از هر لحظه وقت آزاد خود برای تجدیدنظر در کتاب بهره بردیم اعلام داریم .

N. C. Brady, R. R. Weil

پیش گفتار مترجم:

کتاب حاضر با عنوان سرشت و خصوصیات خاکها، چاپ اول، برگردان چاپ دوازدهم کتاب ۷۷ ساله ی Nature& properties of Soils، تالیف آقایان N. C. Brady و R. R. weil به فارسی می باشد که در طی ۸ سال تدریس آن در دانشکده کشاورزی کردستان برای اینجانب مشخص شد که جامع ترین کتاب خاک شناسی عمومی کلاسیک بوده که برای دانشجویان و کارشناسان رشته های کشاورزی و منابع طبیعی به طور خاص و برای دانشجویان و کارشناسان دیگر رشته های علوم وابسته به طور عام مفید می باشد.

فصول مختلف این کتاب با سرفصل دروس خاکشناسی عمومی، خاک شناسی تکمیلی رشته های خاک شناسی، زراعت، باغبانی، ماشین آلات، آبیاری، گیاهپزشکی، آبخیزداری و مرتع، جنگل، محیط زیست تطابق داشته و با برخورداری از تابلوها و اشکال تشریحی جالب توجه به درک مفاهیم اصلی خاک شناسی کمک شایان توجهی می نماید. چهار فصل پایانی و فهرست معانی می تواند مورد استفاده دانشجویان کارشناسی ارشد و دکترای خاک شناسی نیز باشد.

براینجانب واجب است که از همکاری معاونت محترم پژوهشی دانشگاه کردستان و اعضای هیئت علمی و پرسنل محترم آن برای فراهم کردن امکانات انتشار چاپ اول این کتاب تشکر نمایم. نظرات داوران محترم آقایان دکتر سید آهنگ کوثر و دکتر حمید سیادت برای ارزیابی صلاحیت کتاب جهت انتشار مورد تقدیر فراوان است. تلاش سترگ اعجاب برانگیز آقای دکتر کوثر در ویرایش علمی و ادبی کتاب که بیش از چهار ماه به طول انجامید، سبب رفع نواقص و کاستی ها گردید.

ارتقاء سطح علمی و کیفیت مطلوب کتاب مدیون این زحمات قابل ستایش می باشد. ازهمکاری آقای فردین رحیمی و سرکار خانم زهرا نصرتی در تایپ و تنظیم اشکال کتاب تشکر می نمایم. از مدیریت چاپخانه تعاونی ۴۲ سنندج و همچنین مدیریت محترم چاپخانه لیتوگرافی آبرنگ تهران که چاپ کتاب با همت والای آنها صورت گرفت سپاسگزارم.

از همسر فداکار و فرزندان عزیزم که فرصت برگردان این کتاب را در طول ۳ سال کار مستمر برای اینجانب فراهم نمودند تقدیر نموده و تشکو فراوان دارم.

در پایان از همکاران محترم در سازمانهای اداری و اجرایی، اعضا محترم هیئت علمی دانشگاهها و مراکز تحقیقاتی و دانشجویان عزیز رشته های خاک شناسی و دیگر رشته های علوم طبیعی خواهشمندم نواقص و ایرادات موجود در کتاب را با پیشنهادات سازنده خود برای رفع آنها به اینجانب و معاونت پژوهشی دانشگاه کردستان اعلام فرمایند تا انشاء الله در برگردان چاپ های بعدی برای بالا بردن کیفیت کتاب مورد ملاحظه قرار گیرد.

سید صابر شاهویی

درپایان فقط آن‌چه را که دوست داریم، حفظ می‌کنیم
و فقط آن‌چه را کــــه درک می‌کنیم، دوســت داریم
و فقط آن‌چه را که آموخته‌ایم، درک مــی‌کنیــم
بابادیوم، حفاظت چی آفریقایی

فصل اول

خاک‌ها در پیرامون ما

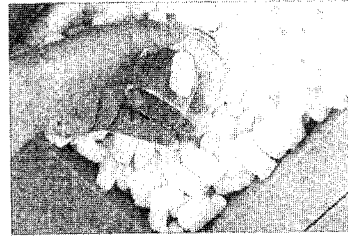
زمین خانه‌ی بی همتای ما در کائنات در مخاطره و بحران می‌باشد و ازبین‌رفتن لایه ازن در نیوار فوقانی ما را در معرض تشعشع زیـاده از حد اشعه‌ی ماوراءبنفش قرار می‌دهد. جنگل‌های حاره‌ای و مجموعه‌ی غیرقابل تصور گونه‌های گیاهی و جانوری آن با نـرخ شـدیدی در حال نابودی است. منابع آب زیرزمینی در بسیاری از مناطق آلوده شده و در مناطق دیگر تخلیه گردیده‌اند. در بخش‌هایی از جهـان ظرفیـت خاک‌ها برای تولید غذا کاهش یافته گرچه تعداد مردمان نیازمند غذا درحال افزایش می‌باشند. برای جمعیت موجود به تعادل درآوردن محیط به حال اول یک چالش بزرگ به شمار می‌آید (شکل ۱-۱).

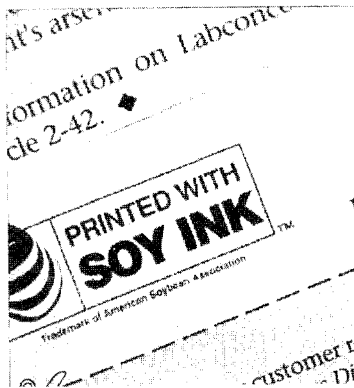


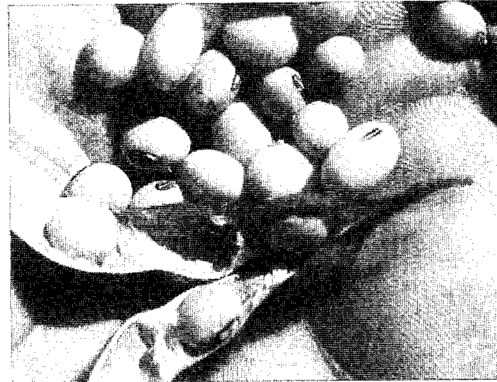
شکل ۱-۱ سیاره‌ی ما از این نظر یگانه است که به‌وسیله‌ی آب و خاک حامی حیات پوشیده شده است. تلاش زیادی برای حفظ کیفیت هردو لازم است تا نسل بشر بتوانـد بـه شکوفایی خود ادامه دهد.

خاک‌ها برای بقا در روی کره‌ی زمین بسیار حیاتی می‌باشند از تخلیه‌ی ازون تا تخریب جنگل‌های بـارانی، آلـودگی آب بـوم‌سـازگان جهانی از راههای متعددی به‌وسیله‌ی فرایندهای درون خاک تحت تأثیر قرار می‌گیرد. کیفیت خاک تا حد زیادی سرشت بوم‌سامان گیاهی و ظرفیت اراضی را برای پشتیبانی حیات جانوری و جوامع انسانی مشخص می‌سازد. با افزایش شهری‌شدن جوامع انـسانی مـردم کمتـری در ارتباط تنگاتنگ با خاک خواهند بود و افراد بینش خود را در اینکه در خیلی موارد بقا و خوشبختی آن‌ها وابسته به خـاک اسـت از دسـت می‌دهند. درجه‌ی وابستگی ما به خاک در آینده نه‌تنها کاهش نمی‌یابد بلکه افزایش نیز می‌یابد. خاک به فراهم تقریباً کل غـذا و بـسیاری از نیازهای پوشاک ما ادامه خواهد داد. در یک روز گرم آیا ترجیح می‌دهید که پیراهن کتانی بپوشید یا پیراهن پلی‌استر؟ به‌علاوه به‌نظر می‌رسـد که زی‌توده‌ی حاصل از خاک با به پایان رسیدن منابع نفت درجهان به منبع عمده‌ی انرژی و سوخت کارخانجات تبدیل شود. علایـم اولیـه این شیوه را می‌توان در جوهرهای حاصل از لوبیا روغنی، پلاستیک‌های حاصل از نشاسته‌ی ذرت و سوخت‌های الکلـی حاصـل از چـوب مشاهده کرد که اهمیت آن‌ها در بازار درحال افزایش است (شکل ۲-۱).









شکل ۲-۱ در آینده ما به‌طور روز افزونی به منبع خاک برای تولید منابع تجدید شونده که می‌تواند جانشین منابع رو بـه کـاهش نفـت خـام شـود متکـی می‌باشیم. پلاستیک و جوهر برای نمونه می‌تواند از روغن سویا به جای مواد نفتی تهیه گردد. روغن سویا خوردنی بوده ودارای سمیت بسیار کمتری از نظر محیط می‌باشد. پلاستیک‌ها مانند فوم‌های بسته‌بندی حاصل از نشاسته‌ی ذرت به سهولت قابل تجزیه زیستی می‌باشد.

۱-۱ نقش خاک در بوم‌سامان‌ها

درهر بوم‌سامان چه باغچه‌ی منزل یا یک مزرعه، یک جنگل و یا یک حوزه‌ی آبخیز خاک‌ها دارای ۵ نقش کلیدی هـستند (شـکل۳-۱).

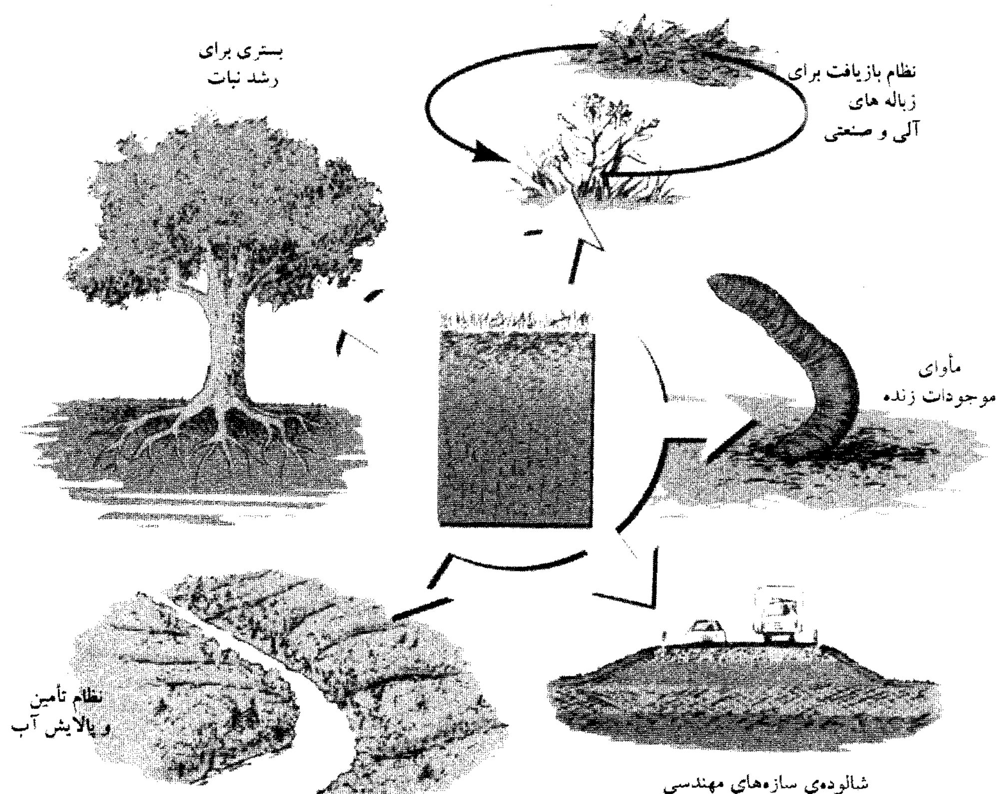
اول خاک‌ها با تهیه‌ی بستر رشد گیاهان و عرضه‌ی عناصر غذایی که برای تمام اندامهای گیاهی لازم است رشـد گیاهـان عـالی را تـضمین می‌کند. خصوصیات خاک معمولاً سرشت پوشش گیاهی موجود و همچنین به‌طور غیرمستقیم تعداد و انواع جانوران (از جمله انسان‌هـا) را که پوشش گیاهی می‌تواند نگهداری کند مشخص می‌کند.

دوم خصوصیات خاک عامل اصلی در تعیین سرنوشت آب در نظام چرخه‌ی آب در طبیعت است، هدررفت آب، اسـتفاده از آب، آلـودگی آب و تصفیه‌ی آب همگی تحت تأثیر خاک است.

سوم خاک به‌عنوان سامانه بازچرخ طبیعت عمل می‌کند. در داخل خاک تولیدات زاید و اجساد مـرده‌ی گیاهـان، جـانوران و انـسان‌هـا در چرخه‌ی هضم قرار گرفته و عناصر اصلی آن‌ها برای استفاده‌ی مجدد نسل دیگر حیات آماده می‌شود.

چهارم خاک مسکن و مأوای هزاران موجود زنده از پستانداران کوچک و خزندگان تا حشرات کوچک، تا سلول‌های میکروبی در تعـداد و انواع غیرقابل تصور می‌باشد.

پنجم در بوم‌سامان دست ساخت انسان خاک نقش مهمی به‌عنوان شالوده و بستر سازه‌های مهندسی پیدا می‌کند. خاک نـه‌تنهـا یـک مـاده‌ی ساختمانی مهم برای سدهای خاکی و ساخت آجرها (مواد پخته‌شده خاکی) است بلکه شالوده‌ای برای تمام جاده‌ها، فرودگـاه‌هـا و منـازل می‌باشد.



شکل ۳-۱ بسیاری از کارکردهای خاک می‌تواند در ۵ نقش بوم‌زیست دسته‌بندی شود.

۲-۱ خاک به عنوان بستری برای رشد نبات

یک درخت و یا یک نبات ذرت درحال رشد را در نظر بگیرید. بخش فوقانی این گیاه در روی زمین ممکن است بسیار مشهود باشد اما بخش زیرزمینی آن که مشهود نیست ممکن است به بزرگی بخش بیرونی باشد. این گیاهان چه چیزی را از خاکی که ریشه‌ها در آن توسعه می‌یابند کسب می‌کنند. روشن است که توده‌ی خاک سبب حمایت فیزیکی نبات با دربرگرفتن نظام ریشه و جلوگیری از واژگون‌شدن نبات می‌شود. همان‌طورکه در شکل ٤-۱ آمده است، گاهی درختان به‌وسیله‌ی باد و برف سنگین وقتی خاک اطراف ریشه کم‌عمق است و یا شرایط نامطلوب از توسعه‌ی ریشه ممانعت نموده است واژگون می‌شوند

ریشه گیاهان وابسته به فرایند تنفس برای کسب انرژی می‌باشد. آز آنجا که تنفس ریشه مانند تنفس انسان‌ها سبب تولید گازکربنیک و مصرف O^2 خاک می‌شود یکی از نقش‌های عمده‌ی خاک تهویه می‌باشد که امکان خروج گازکربنیک و ورود اکسیژن را به منطقه ریشه فراهم می‌کند. این تهویه از طریق شبکه‌ی خلل و فرج خاک امکان‌پذیر می‌شود.

نقش مهم دیگر منافذ خاک جذب آب باران و نگهداری آن برای استفاده ریشه گیاهان می‌باشد هرچه برگ درختان بیشتر در معرض نور آفتاب باشد نبات به جریان مداومی از آب برای خنک‌کردن، حمل عناصر غذایی، نگهداری شادابی و فتوسنتز نیازمند خواهد بود. ازآن‌جاکه گیاهان از آب به‌طور مستمر استفاده می‌کنند اما باران‌ها ندرتاً نازل می‌شوند، ظرفیت نگهداری محلول خاک برای بقای نبات، حیاتی می‌باشد. یک خاک عمیق ممکن است آب کافی برای بقای نبات را در مدت زمان طولانی بدون بارندگی فراهم کند.

خاک همانند متعادل‌نمودن رطوبت، نوسانات دما را نیز متعادل می‌کند. شما شاید در یک بعدازظهر تابستانی به حفر خاک باغچه‌ی منزل خود مبادرت نموده و ضمن احساس گرما در سطح خاک دریافته باشید که خاک چند سانتی‌متر پایین‌تر چقدر خنک‌تر می‌باشد. خصوصیات عایق سازی خاک بخش‌های پایین نظام ریشه را از نوسانات شدید گرم‌شدن و سردشدن در سطح خاک معمول است مصون می‌دارد. برای مثل غیرعادی نخواهد بود که دمای سطح خاک لخت در وسط ظهر به ۳۵ تا ٤۰ درجه‌ی سانتی‌گراد برسد شرایطی که برای ریشه بسیاری از

نباتات کشنده است. درست چند سانتی‌متر پایین‌تر دما ممکن است به ۱۰ درجه سانتی‌گراد برسد که اجازه دهد ریشه وظایف خود را به طور معمول انجام دهد.



شکل ٤-١ این خاک مرطوب کم‌عمق امکان رشد کافی ریشه‌ها را فراهم نکرده و نتوانسته از واژگون‌شدن درخت به دلیل سنگین‌شدن شاخه‌ها از برف در یک طوفان زمستانه ممانعت کند.

در خاک منابع زیادی از مواد بالقوه مضر برای نباتات وجود دارد. این مواد سمی ممکن است ناشی از فعالیت انسانی بوده یا ممکن است به‌وسیله‌ی ریشه‌ی گیاهان و یا ریزجانداران خاک و یا با واکنش‌های شیمیایی طبیعی ایجاد شده باشند تعدادی از مدیران خاک، جلوگیری از مسمومیت نبات را نقش مهم برای یک خاک خوب می‌دانند که از طریق تهویه گازها یا تجزیه‌ی و یا جذب سم‌های آلی و یا کاهش موجودات تولیدکننده سم حاصل خواهد شد.

در عین حال باید دانست که بعضی از زیواچه‌ها در داخل خاک ترکیبات آلی محرک رشد تولید می‌کنند مقادیر اندک این مواد درصورت جذب به‌وسیله‌ی گیاهان سبب ارتقای قدرت نبات می‌شود.

خاک عناصر غذایی، آلی و معدنی را به‌صورت ین‌های محلول برای نباتات فراهم می‌کند این عناصر معدنی شامل ین‌های فلزی مانند پتاسیم، کلسیم، آهن، مس و همچنین عناصر غیرفلزی مانند ازت، گوگرد، فسفر و بر می‌باشند (جدول۱-۱).

با خوردن گیاهان، انسان و دیگر حیوانات معمولاً کانی‌های موردنیاز خود را (از جمله چند عناصر که نبات جذب کرده اما به نظر می‌رسد خود مصرف نمی‌کند) به‌طور غیرمستقیم از خاک دریافت می‌دارند (جدول تناوبی در پیوست ج۲). در بعضی شرایط حیوانات ین نیاز خود را برای کانی‌ها با خوردن ویا آشامیدن شیرابه‌ی ازخاک ارضا می‌کنند (شکل ٦-١). نبات این عناصر را از محلول خاک جذب کرده و آنرا در هزاران ترکیب آلی مختلف که اندامهای گیاهی را می‌سازد شرکت می‌دهد. یکی از نقش‌های اساسی خاک در تضمین رشد گیاهی، عرضه‌ی مداوم عناصر معدنی محلول در مقادیر نسبی و مقادیرکل مناسب برای رشد نبات می‌باشد.

از ۹۲ عنصر شیمیایی که در طبیعت یافت می‌شوند فقط ۱۸ عنصر در جدول ۱-۱ مشخص شده است که برای رشد اساسی بوده و گیاهان بدون آن‌ها قادر به رشد و تکمیل چرخه‌ی خود نمی‌باشند. همانند پیغامی که ممکن است در یک تابلو بر روی در یک کافه نوشته شده باشد جمله‌ی زیر به شما کمک می‌کند که این ۱۱ عنصر لازم برای رشد را به خاطر داشته باشند. در این پیام اکثر عناصر شیمیایی مشخص هستند اما برای مس (Cu) و روی (Zn) ممکن است نیاز به قدری تامل باشد.

C.B. HopkiNs Café .Co Closed Monday Morning and Night See You Zoon, the Mg

عناصر اسامی که به‌وسیله‌ی نبات در مقادیر نسبتاً زیاد مصرف می‌شوند عناصر پرمصرف و یا ماکروالمنت[1] و عناصری که در مقادیر اندک مصرف می‌شوند عناصر کم‌مصرف و یا میکروالمنت[2] نامیده می‌شوند.

---

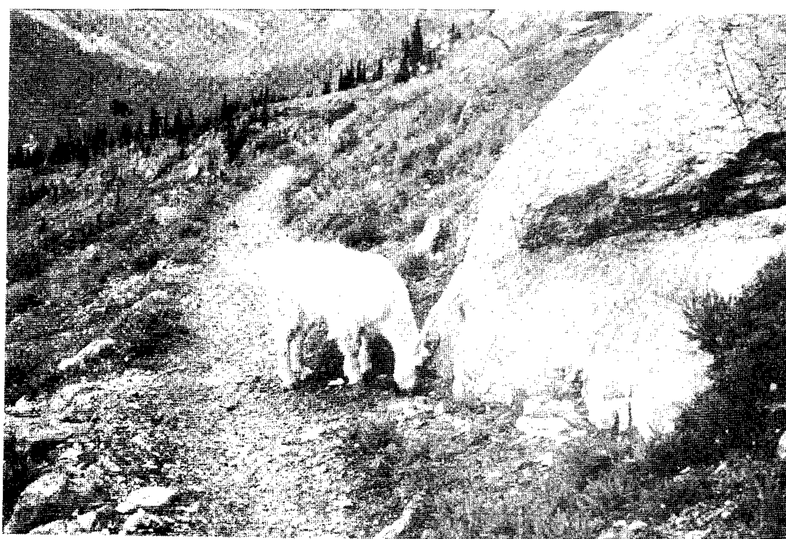
1 - Macroelements
2 - Microelements

گرچه نبات ممکن است مقادیر جزیی از ترکیبات آلی خاک را مورد استفاده قرار دهد اما جذب این مواد مطمئناً برای رشد معمول لازم نمی‌باشد. مواد آلی حاصل از سوخت‌وساز گیاهی، آنزیم‌ها وترکیبات ساختمانی که ماده‌ی خشک گیاهی را تشکیل می‌دهد عمدتاً از کربن، هیدروژن و اکسیژن تشکیل شده‌اند که گیاهان از طریق فتوسنتز از آب و هوا می‌گیرند و از خاک جذب نمی‌کنند.

این درست است که گیاهان می‌توانند در محلول‌های غذایی بدون خاک کشت گردند. (هیدروپونیک) اما نقش‌های حمایتی خاک برای گیاهان باید به‌صورت مهندسی در نظام اعمال گردیده و با صرف هزینه، زمان، کوشش، مدیریت بالایی حفظ گردد. هرچند محصولات زیست‌بوم طبیعی همیشه متکی به استفاده از میلیون‌ها کیلومتر خاک‌های حاصلخیز است.



شکل ۵-۱ خانواده‌ای از فیل‌های آفریقایی یک سایه‌ی خنک را در زیر تاج پوشش درخت عظیم آکاسیا در این ساوانای آفریقای شرقی پیدا کرده‌اند. عکس در اواسط یک دوره‌ی خنک طولانی گرفته شده و باران برای مدت ۵ ماه نازل نشده است. ریشه درختان هنوز از آب حاصل از بارندگی فصل قبل که در خاک به ژرفای چند متر ذخیره شده است استفاده می‌کنند. علف‌های کم‌رنگ دارای ریشه کم‌عمق بوده که به بذر نشسته اند و یا خشک شده و یا در حالت خواب و توقف رشد قرار دارند.



شکل ٦-١ - یک بز کوهی که با یک نشت نمک مواجه می‌شود عناصر مورد نیاز خود را مستقیماً از خاک جذب می‌کند. حیوانات معمولاً کانی‌های لازم برای جیره‌ی غذایی خود را به‌طور مستقیم از خاک با خوردن گیاهان به‌دست می‌آورند.

جدول ۱-۱ عنصر اساسی برای رشد نباتات و منبع آن‌ها *

اشکال شیمیایی که معمولاً به‌وسیله‌ی نبات جذب می‌شود درداخل پرانتز گذاشته‌شده وعلایم شیمیایی با حرف درشت نشان داده شده است.

عناصر پرمصرف مورد استفاده در مقادیر نسبتاً زیاد یا بیشتر از ۰/۱ درصد وزن خشک نبات				عناصر کم‌مصرف مورد استفاده در مقادیر نسبتاً اندک یا کمتر از ۰/۱ درصد وزن خشک نبات	
جذب عمدتاً از هوا و آب		جذب عمدتاً از خاک		جذب عمدتاً از خاک	
کربن	CO_2 (C)	ازت	NO^{3-} ,NH_4^+	آهن	Fe^{2+}
هیدروژن	H_2O (H)	فسفر	$H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}	منگنز	Mn^{2+}
اکسیژن	H_2O (O)	پتاسیم	K^-	بر	HBo_3
		کلسیم	Ca^{2-}	مولیبدون	MoO_4^{2-}
		منیزیم	Mg^{2-}	مس	Cu^{2+}
		سولفات	SO_4^{2-}	روی	Zn^{2+}
				نیکل	Ni^{2+}
				کلر	Cl^-
				کبالت	Co^{2-}

*بسیاری از عناصر دیگر به‌وسیله‌ی گیاه از خاک جذب می‌شوند اما برای رشد نبات لازم نمی باشند. بعضی از این عناصر (سدیم سیلیس، ید، فلور، باریم، استرنسیوم) رشد بعضی از گیاهان را افزایش می‌دهند اما در مقیاس جهانی برای رشد همانند ۱۸ عنصر جدول مهم به‌نظر نمی‌رسد.

۳-۱ تنظیم‌کننده عرضه‌ی آب

توجه بسیار زیادی در مورد کیفیت و کمیت آب در رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و آبخوان‌های زیرزمینی وجود دارد. حکومت‌ها و شهروندان به دنبال ریشه‌یابی آلودگی تهدیدکننده ارزش آبهای ما برای ماهی‌گیری، شنا و آشامیدن می‌باشد. برای پیشرفت لازم در بهبود کیفیت آب باید دریابیم که تقریباً هر قطره آب در رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، مصب‌ها و آبخوان‌ها یا از سطح خاک و یا از درون خاک عبور نموده است.[۱] برای مثال فرض کنید باران شدیدی بر روی تپه‌های اطراف رودخانه در شکل ۷-۱ ببارد. اگر خاک امکان نفوذ آب را به‌داخل خود بدهد مقداری از آب جذب گردیده و به‌وسیله‌ی درختان و نباتات دیگر مصرف می‌شود و درحالی‌که مقداری دیگر به آهستگی از طریق لایه‌های خاک به پایین و به داخل آب زیرزمینی نشت نموده ونهایتاً به داخل رودخانه‌ها در طول ماهها، سالها از طریق جریان پایه وارد می‌شوند. درصورت آلوده‌بودن، آب در فرایند نشت از لایه‌ها فوقانی خاک تصفیه‌شده و به‌وسیله‌ی فرایندهای خاک که بسیاری از این ناخالصی‌ها را جدا کرده و جانداران موجد بیماری را از بین می‌برد تمیز می‌گردد.

برعکس شرایط فوق اگر خاک کم‌عمق بوده و یا غیرقابل نفوذ باشد بخش اعظم باران به داخل خاک نفوذ نکرده و به‌صورت روان آب از تپه‌ها در سطح خاک جاری می‌شوند و با بالارفتن سرعت آن سبب کنده‌شدن خاک سطحی شده و تمام آن‌ها را به سرعت به داخل رودخانه‌ها وارد می‌سازد. نتیجه‌ی نهایی یک سیل مخرب با آب گل‌آلود است. سرشت و مدیریت خاک‌ها در حوزه‌ی آبخیز تأثیر عمده‌ای بر خلوص و میزان آبی که در نظام آبی وارد می‌شود خواهد داشت.

۴- ۱ بازچرخ‌کننده‌ی مواد خام

جهان درصورت نبود عملیات بازچرخ مواد به‌وسیله‌ی خاک چگونه خواهد بود. بدون استفاده‌ی مجدد از عناصر غذایی، گیاهان و حیوانات مدتها قبل از تغذیه باز می‌ماندند و جهان احتمالاً از لایه‌هایی با صدها متر ارتفاع باقی مانده نبات و جسد و فضولات حیوانی انباشته می‌شد. بازچرخ بنابراین باید به‌عنوان یک فرایند حیاتی در بوم‌سامان‌ها، چه جنگل، چه مزارع و شهرها تلقی گردد. سامانه خاک یک نقش محوری در چرخه‌های شیمی زمین ایفا می‌کند. خاک‌ها دارای ظرفیت هضم مقادیر زیاد فضولات آلی و برگردان آن به هوموس مفید،

1 - این مقادیر نسبتاً اندک بارش را که مستقیماً بر روی سطح منابع آب فرود می‌آید در بر نمی‌گیرد.

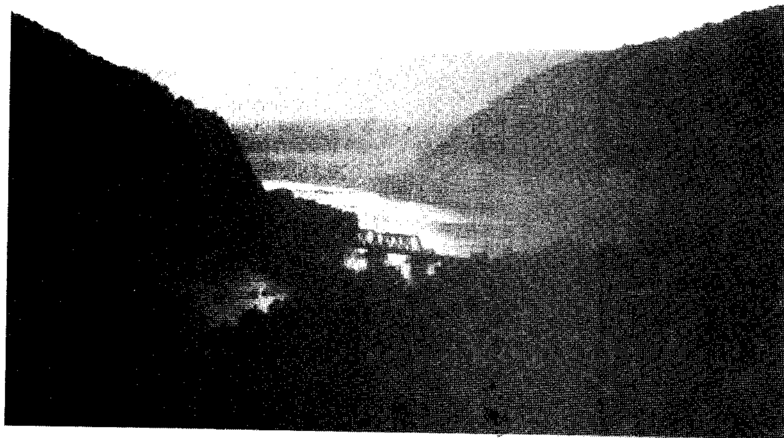
تبدیل عناصر غذایی معدنی در فضولات به اشکال قابل استفاده برای گیاهان و جانوران و برگرداندن کربن به نیوار به‌صورت گازکربنیک می‌باشد که بعداً به‌صورت بخشی از بدن موجودات زنده از طریق فتوسنتز درخواهد آمد. بعضی از خاک‌ها می‌توانند مقدار زیادی از کربن را به‌صورت ماده آلی در خود ذخیره کنند، بنابراین دارای اثرات مهمی بر تغییرات کره‌ی زمین تحت عنوان اثر گلخانه‌ای[1] می‌باشند که بسیار مورد بحث قرار گرفته است. (بخش‌های ۲-۱۲ و ۱۲-۱ را مشاهده کنید).

۱-۵ خاک مأوای موجودات زنده

وقتی صحبت از حفظ بوم‌سامان می‌کنم اکثر مردم یک جنگل قدیمی، حیات‌وحش فراوان و یا احتمالاً یک مصب مانند خلیج چزاپیک[2] با صدفهای خوراکی و ماهی‌گیری را در نظر تجسم می‌کنند (شاید شما وقتی این کتاب را بخوانید، وقتی کسی از بوم‌سامان صحبت می‌کند شما یک مشت پر از خاک را تجسم کنید). خاک تنها توده‌ای از سنگ خردشده و بقایای مرده نیست. یک مشت خاک ممکن است مأوای میلیونها موجود زنده باشد که به هزاران گونه تعلق دارند. در این مقدار اندک خاک احتمالاً موجودات شکارچی، شکار، مصرف‌کنندگان، تولیدکنندگان و انگل‌ها وجود داشته باشند (شکل ۸-۱).

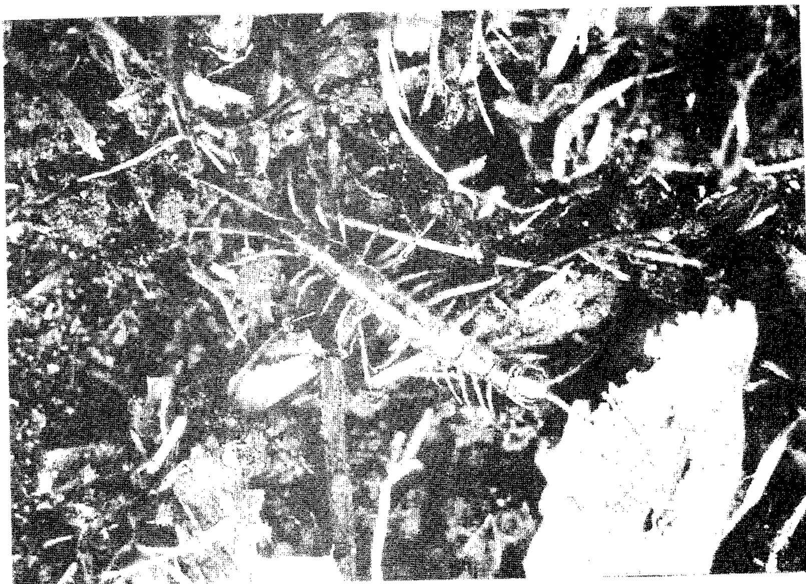
چگونه امکان دارد که این همه موجودات متنوع در این محیط کوچک زندگی کرده و بر همدیگر اثرات متقابل داشته باشند؟ یک توضیح این است که مأوا و محل سکونت‌های بسیار زیادی در یک خاک ظاهراً یکنواخت وجود دارد، بعضی از منافذ خاک از آب مملو بوده و در آن موجوداتی مانند کرمهای حلقوی، دیاتومه‌ها و مژه‌داران حلقوی شناور می‌باشند. حشرات باریک و عنکبوتهای کوچک در منافذ درشت‌تر که از هوای مرطوب مملو می‌باشند درحال خزیدن می‌باشند. مناطق خیلی کوچک با تهویه‌ی خوب ممکن است فقط چند میلیمتر از مناطق دارای شرایط تهویه ضعیف فاصله داشته باشند. مناطق مختلفی ممکن است از بقایای پوسیده آلی غنی‌شده باشند. بعضی مناطق ممکن است به شدت اسیدی و بعضی مناطق بیشتر بازی باشند. و دما نیز ممکن است دارای تغییرات شدید باشد.

در خاک‌های مناطق مختلف جهان پنهان از چشمان ما جوامع مختلف موجودات زنده بسر می‌برند که همانند موجودات ساکن ساوانا، جنگل‌ها و اقیانوس‌های جهان پیچیده و ذاتاً باارزش می‌باشند. خاک‌ها پناهگاه بیشترین تنوع زیستی کره‌ی زمین می‌باشند. خاک‌ها همانند هوا و آب یکی از اجزای مهم زیست محیط می‌باشند و کیفیت خاک همانند کیفیت آب و هوا به‌تدریج جای خود را در مباحث حفظ محیط زیست پیدا می‌کند.



شکل ۱-۷ شرایط این خاک که سطح دامنه تپه‌ها را در کوه‌های بلوریج[3] در ویرجینیای غربی ومریلند پوشانده است در کیفیت و کمیت رودخانه پوتامیک که از واشنگتن‌دی‌سی تا ۱۰۰ کیلومتر پایین‌تر در جریان است بسیار مؤثر می‌باشد.

[1] - Green House Effect
[2] - Chesa Peak bay
[3] - Blue Ridge



شکل ۸-۱ خاک مأوای موجودات زنده‌ی متنوع از نسبتاً بزرگ تا خیلی کوچک می‌باشد. در شکل یک هزار پای شکارچی درحال روبه‌روشدن با یک خرخاکی خرده ریزخوار گیاهی می‌باشد.

۱-٦ خاک به عنوان مصالح مهندسی

ترافیرما[1] (زمین سخت) معمولاً همان تجسم ما از خاک به عنوان جسم سخت و سفت می‌باشد. شالوده‌ی خوبی‌که بر روی آن می‌توان انواع جاده‌ها و سازه‌ها را ایجاد کرد. در واقع بیشتر سازه‌ها بر روی خاک جای گرفته‌اند. بسیاری از پروژه‌های ساختمان سازی نیازمند حفاری در داخل خاک می‌باشند. متأسفانه، همان‌طورکه می‌توان در شکل ۹-۱ مشاهده کرد. بعضی از خاک‌ها دارای پایداری خاک‌های دیگر نمی‌باشند. ایجاد ساختمان‌های قابل اعتماد بر روی خاک با استفاده از مصالح خاکی نیازمند داشتن دانش لازم از خصوصیات متنوع خاک می‌باشد که در آخر این فصل بیان می‌شود، طراحی بستر جاده‌ها و یا پی ساختمان‌ها که در یک محل بر روی یک نوع خاک به‌خوبی عمل می‌کند در محل دیگر با خاک‌های متفاوت ممکن است ناکافی باشد.



شکل ۹-۱ دانش بهتر در مورد خاک‌هایی که این جاده بر روی آن ساخته شده است شاید به مهندس آن، امکان ارائه‌ی یک طرح پایدارتر را می‌داد که از ایجاد این چنین موقعیت پرهزینه و خطرناک جلوگیری به‌عمل می‌آمد.

---

1 - Terrafirma (Solid ground)

کارکردن با خاک طبیعی و یا مصالح حفاری‌شده همانند کارکردن بر روی بتن و یا فولاد نمی‌باشد. خصوصیاتی مانند مقاومت فشاری، تراکم‌پذیری، مقاومت برشی ویا پایداری بسیارمتغیر بوده و برآورد آن برای خاک‌ها بسیار مشکل‌تر از مصالح ساختمانی ساخته‌شده می‌باشد. فصل چهار مقدمه‌ای را درمورد بعضی از خصوصیات مهندسی خاک‌ها ارایه می‌دهد. بسیاری از خصوصیات فیزیکی موردبحث مستقیماً در استفاده‌ی مهندسی از خاک‌ها کاربرد دارد. برای مثال فصل ۸ به خصوصیات انبساط‌پذیری انواع مشخص رس‌ها در خاک‌ها می‌پردازد. مهندس باید آگاه باشد که خاک‌های دارای رس قابل انبساط، هنگام مرطوب‌شدن انبساط یافته و دارای نیروی کافی برای ترک‌برداشتن پی‌ها و بالاآمدن پیاده‌روها می‌باشد. بسیاری از اطلاعات درمورد خصوصیات خاک و طبقه‌بندی خاک که در فصل‌های بعد موردبحث قرار خواهد گرفت برای افرادی‌که در برنامه‌ریزی کاربری اراضی از جمله در حفاری و ساختمان شرکت دارند دارای ارزش بسیار زیاد می‌باشد.

۱-۷ خاک به عنوان یک جسم طبیعی

شما ممکن است توجه کرده باشید که این کتاب بعضی مواقع به (خاک)[1]، بعضی مواقع به (یک خاک)[2] و بعضی مواقع به (خاک‌ها)[3] اشاره می‌کند. اغلب گفته می‌شود که خاک همانند یک پوسته که پرتقال را می‌پوشاند اراضی را پوشش داده است. درحالی‌که پوسته تقریباً در اطراف پرتقال یکنواخت است، خاک‌ها از محل به محل در سطح زمین متفاوت می‌باشند. در واقع خاک عبارتست از مجموعه‌ای از اجسام انفرادی است، ارتباط یکی از این اجسام انفرادی یعنی یک خاک با خاک همانند یک درخت انفرادی به پوشش گیاهی سطح زمین است، درست مانند اینکه کسی افرای شکری[4]، بلوط، شوکران[5] و بسیاری از گونه‌های درختی را در یک جنگل خاص پیدا کند. همچنین کسی ممکن است خاک لوم رسی کریستانا[6]، لوم شنی سانی ساید[7] و لوم سیلتی الکتون[8] و سایر خاک‌ها را در یک چشم‌انداز پیدا کند. یک خاک جسم طبیعی سه‌بعدی است، که همانند یک کوه، یک دریاچه و یا یک دره می‌باشد. با انداختن یک سطل به داخل یک دریاچه شما ممکن است نمونه‌ای از آب آن را به‌دست آورید. به‌همین ترتیب با حفاری و یا ایجاد یک حفره به‌وسیله‌ی مته در خاک شما ممکن است نمونه‌ای از مواد خاکی را به‌دست آورید بنابراین شما می‌توانید یک نمونه از خاک و یا آب را به یک آزمایشگاه برده و محتویات آنرا مورد تجزیه قرار دهید اما برای مطالعه‌ی یک خاک یا دریاچه باید در بیرون و در مزرعه یا دریاچه اقدام کنید.

در اکثر جاها سنگ ظاهر شده در سطح زمین خرد و تجزیه گردیده و یک لایه از مواد ناپیوسته را بر روی سنگ سخت غیرهوا زده ایجاد می‌کند این لایه متراکم رگولیت[9] نام دارد. ضخامت آن عملاً از صفر در بعضی جاها (صخره لخت بیرون زده) تا ده‌ها متر در جاهای دیگر متغیر است. مواد رگولیتی در بسیاری از موارد در کیلومترها فاصله از محل تشکیل اولیه خود حمل گردیده، سپس بر روی سنگ مادر فعلی جای گرفته است. بنابراین، تمام و یا قسمتی از رگولیت ممکن است با سنگی که هم‌اکنون در زیر آن قرار گرفته است ارتباط داشته و یا نداشته باشد. وقتی سنگ زیرین در همان محل چنان دچار هوادیدگی شده و نرم گردیده باشد که بتوان در آن با بیل حفاری نمود. واژه ساپرولیت[10] به آن اطلاق می‌شود. تابلو (۱۱) را مشاهده کنید.

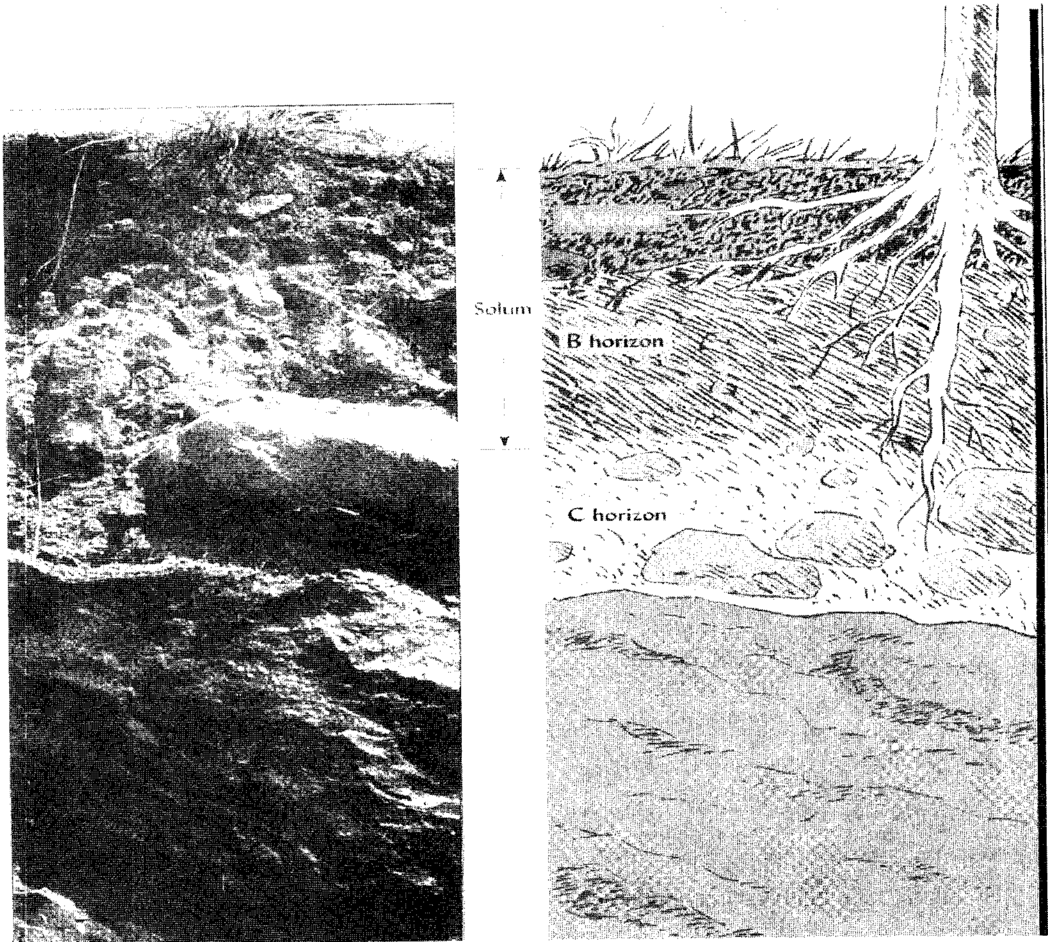
موجودات زنده مانند باکتریها، قارچها و ریشه‌ی گیاهان از طریق اثرات زیست‌شیمی و فیزیکی سبب تغییر بخش‌های فوقانی در بسیاری از موارد در تمام عمق رگولیت شده‌اند. در این‌جا در محل تلاقی کره‌ی سنگی (لیتوسفر)، کره‌ی هوا (نیوار)، کره‌ی آب (هیدروسفر) و موجودات زنده (بیوسفر) خاک متولد می‌شود. دگرگون‌شدن سنگ معدنی و خرده سنگ‌ها به یک خاک زنده یکی از جلوه‌های بسیار جالب طبیعت می‌باشد. هرچند خاک و رگولیت، معمولاً پنهان از دید هر روزه‌ی ما، می‌توانند در بریدگی جاده‌ها و سایر حفاری‌ها مورد مشاهده قرار گیرند(شکل ۱۰-۱).

یک خاک حاصل فرایندهای تخریبی و تکوینی (بازساخت) می‌باشد. هوادیدگی سنگ مادر تجزیه‌ی میکروبی پس‌مانده‌های گیاهی مثالهایی از فرایندهای تخریبی بوده درحالی‌که ایجاد کانی‌های جدید مانند رس‌های به‌خصوص و ترکیبات پایدار آلی مانند هوموس مثالهایی

---

1 - The Soil
2 - a soil
3 - Soils
4 - Sugar Maple
5 - Hemlocks
6 - Christiana Clay Loam
7 - Sunnyside Sandy Loams
8 - Elkton Silt Loams
9 -Regolith
10 - Saprolite

از فرایندهای بازساخت می‌باشند. شاید نتیجه بسیار برجسته‌ی فرایندهای بازساخت تشکیل لایه‌های افقی مشهور به افق‌های خاک باشد. ایجاد این افق‌ها در رگولیت فوقانی یک خاصیت انحصاری خاک است که آنرا از مواد عمیق‌تر رگولیت جدا می‌سازد.



شکل ۱۰-۱ موقعیت‌های نسبی رگولیت، خاک و سنگ بستر زیرین. توجه داشته باشید که خاک بخشی از رگولیت است و افق‌های A و B بخشی از سولوم[1] خاک (در لاتین کلمه سولوم به معنی خاک یا زمین است) می‌باشند. افق C بخشی از رگولیت است که در زیر سولوم قرار گرفته اما بخش فوقانی آن ممکن است به آهستگی تبدیل به خاک شود. در بعضی مواقع رگولیت چنان نازک است که کاملاً تبدیل به خاک شده است. در این حالت خاک مستقیماً بر روی سنگ بستر قرار گرفته است.

۸-۱ خاکرخ و لایه‌های آن (افق‌ها)

دانشمندان خاک‌شناس معمولاً چاله‌ای بزرگ در خاک حفر می‌کنند که گودال خاک[2] نامیده می‌شود، گودال با داشتن چندین متر عمق و حدود یک متر عرض برای آشکارشدن افق‌های خاک جهت مطالعه مورد استفاده قرار می‌گیرد. یک نیمرخ قایم که مجموعه‌ای از این افق‌ها را در دیواره‌ی این گودال درمعرض دید قرار می‌دهد. خاکرخ[3] نام دارد. بریدگی تازه کنار جاده‌ها و دیگر حفاری‌ها می‌توانند نیمرخ خاک را آشکار کرده و به عنوان پنجره‌ای به روی خاک باز گردند. در حفاریهایی که برای مدت زیادی باقی مانده‌اند افق‌ها در اثر پوشیده‌شدن به‌وسیله‌ی مواد افق‌های فوقانی که به‌وسیله‌ی باران شستشو یافته‌اند از انظار پنهان می‌مانند. به این دلیل افق‌ها درصورت برداشت لایه‌ای از خاک، با ضخامت چند سانتی‌متر از نیمرخ خاک بهتر قابل مشاهده خواهند بود. با مشاهده‌ی چگونگی تغییرات خاک‌ها از محل به محل در بریدگی کنار جاده‌ها چهره‌ی جالب‌توجه‌تری به مسافرت‌ها خواهد داد. هنگامی که آموزش تفسیر افق‌های خاک را فرا گیرید (فصل دوم را

---

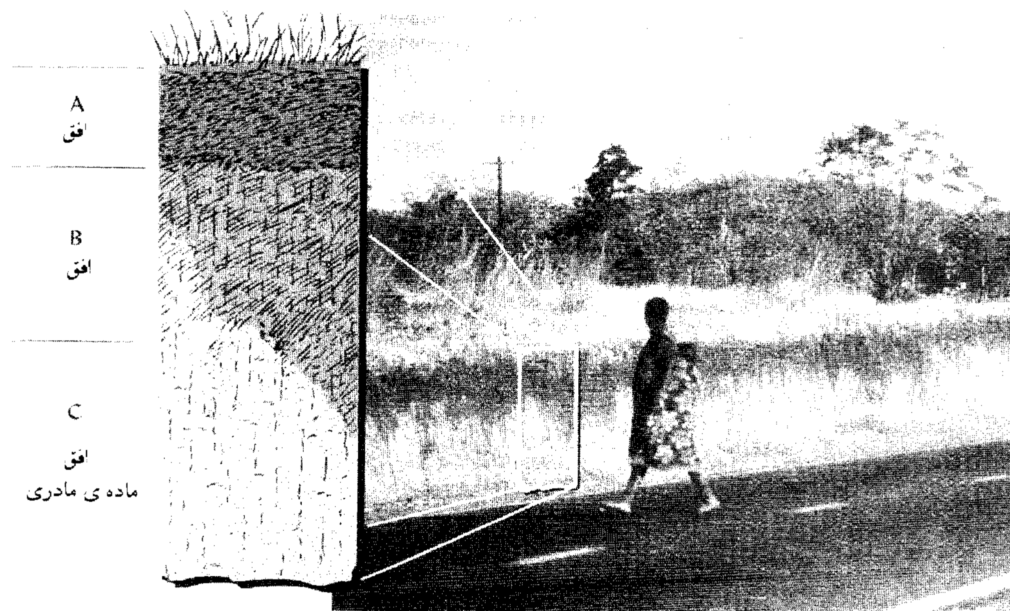
1 - Solum
2 - Soil Pit
3 - Soil Profile

مشاهده کنید). افق‌های خاک شما را از توان بالقوه‌ی خاک‌ها در کاربریها مطلع خواهد کرد. همین‌طور اطلاعات بسیار زیادی درباره‌ی محیط زیست و تاریخ یک منطقه به شما خواهد گفت. برای مثال خاک‌های ایجاد شده در یک منطقه‌ی خشک دارای افق‌های بسیار متفاوتی با خاک‌های تشکیل شده در مناطق مرطوب خواهد داشت.

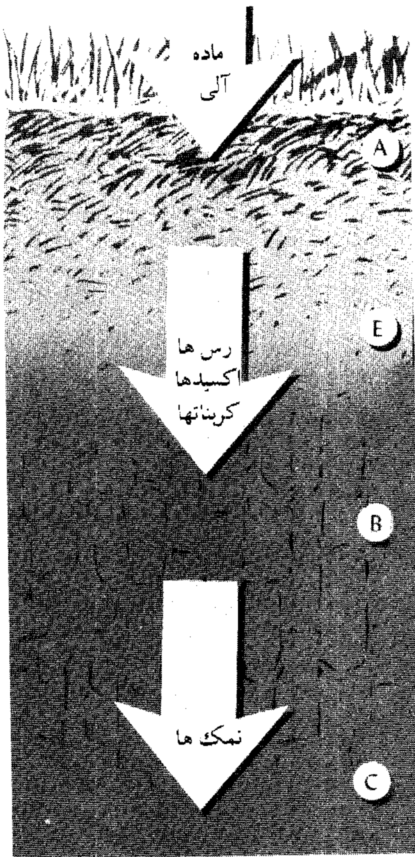
افق‌های یک خاک ممکن است از نظر ضخامت متفاوت بوده و مرزهای تقریباً ناهمواری داشته باشند اما اغلب این افق‌ها به موازات سطح خاک می‌باشند. (شکل ۱۱-۱). این امتداد افقی لایه‌ها از هنگام افتراق رگولیت به افق‌های مجزا قابل انتظار بوده و تا حد زیادی حاصل تأثیرات هوا، آب، تشعشع خورشیدی و مواد گیاهی حاصل در فصل مشترک خاک و نیوار می‌باشد. از آنجاکه هوادیدگی رگولیت ابتدا در سطح آن صورت گرفته و به‌طرف پایین ادامه می‌یابد، لایه‌های بالایی دچار بیشترین دگرگونی می‌باشند درحالی‌که لایه‌های پایین‌تر بسیار شبیه رگولیت اولیه می‌باشند. که به آن ماده‌ی مادری خاک گفته می‌شود. در محل‌هایی‌که رگولیت اولیه در ترکیب تقریباً یکنواخت است، مواد زیر خاک ممکن است دارای ترکیب مشابهی با مواد مادری که خاک از آن تشکیل شده است باشند. در سایر موارد مواد رگولیتی در فاصله زیادی به‌وسیله‌ی باد، آب و یا یخچال‌ها حمل شده و در بالای مواد غیرمشابه جایگزین شده است. در این موارد مواد رگولیتی در پایین خاک ممکن است کاملاً با لایه‌های فوقانی رگولیت که خاک از آن تشکیل گردیده متفاوت باشد.

ماده‌ی آلی حاصل از برگها و ریشه‌های تجزیه‌شده‌ی گیاهان تمایل دارند که در بالاترین افق‌های خاکرخ تجمع یابند و افق‌هایی با رنگ تیره‌تری در مقایسه با افق‌های پایین ایجاد کنند. همچنین وقتی هوادیدگی در لایه‌های فوقانی بسیارشدید باشد در بسیاری از خاک‌ها این لایه‌ها مقداری از رس و دیگر محصولات هوادیدگی خود را از طریق شستشوی داخلی به افق‌های پایین از دست می‌دهند. این افق‌های غنی از مواد آلی در نزدیکی سطح، افق A نامیده می‌شوند. در بعضی خاک‌ها افق‌های شدیداً هوادیده شستشویافته که فاقد تجمع مواد آلی است در بخش‌های فوقانی خاکرخ اغلب درست زیر افق A قرار دارند به این افق‌ها افق‌های E نامگذاری شده‌اند (شکل ۱۲-۱).

لایه‌های زیرین افق‌های A و O دارای ماده‌ی آلی نسبتاً کمتری در مقایسه با افق‌های نزدیک سطحی می‌باشند. مقادیر مختلفی از رس‌های سیلیکاتی، اکسیدهای آهن و آلومنیوم، گچ و کربنات کلسیم ممکن است در افق‌های زیرین تجمع یابند. مواد تجمع یافته ممکن است از افق‌های بالا به پایین شسته شده و یا ممکن است طی فرایند هوادیدگی در جا تشکیل شوند. این لایه‌های زیرین افق‌های B نامیده می‌شوند شکل (۱۲-۱).

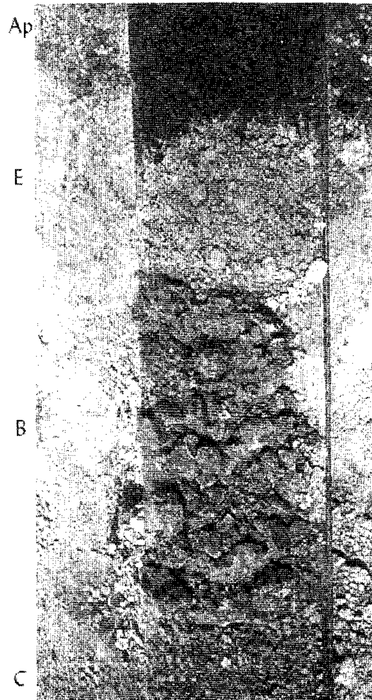


شکل ۱۱-۱ این بریدگی کنار جاده در آفریقای مرکزی بیانگر لایه‌های خاک و یا افق‌ها می‌باشد که موازی سطح الارض می‌باشند. روی‌هم این افق‌های خاک خاکرخ را نشان می‌دهد که در شکل بزرگ شده مشاهده می‌گردد. افق‌های بالایی . افق‌های A نامگذاری شده است. این افق معمولاً دارای ماده‌ی آلی بیشتر و رنگ تیره‌تر از افق‌های پایین می‌باشد. بعضی از مواد مانند اکسیدهای آهن و رس‌ها به‌وسیله‌ی آب باران ازافق‌های فوقانی به افق‌های پایین حرکت کرده اند. افق پایین‌تر که افق B نامیده می‌شود در بعضی از مواقع در آن‌ها اکسیدهای آهن و رس تجمع یافته و ساختمان خاص تشکیل می‌شود. حضور افق‌ها و خصوصیات آن‌ها دراین خاکرخ آنرا از هزاران خاک دیگردر روی زمین متمایز می‌سازد.



شکل ۱۲-۱ افق‌های خاک با افزایش مواد به بخش‌های فوقانی خاکرخ و جابه‌جایی سایر مواد به افق‌های زیرین شروع به تفکیک‌شدن می‌کنند. تحت شرایط خاص و معمولاً با حضور پوشش جنگلی و بارندگی زیاد یک افق شستشو یافته (E) بین افق ماده آلی A و افق B شروع به تشکیل می‌کند. اگر بارندگی بمقدار کافی زیاد باشد نمکهای محلول به پایین خاکرخ انتقال خواهند یافت و احتمالاً اغلب به آبهای زیرزمینی راه خواهند یافت.





شکل ۱۳-۱ (سمت چپ) این خاکرخ با حفر چاله‌ای با حدود ۲ متر عمق در یک خاک کاملاً تکامل‌یافته (هاپلودالف) در جنوب ایالت میشگان در معرض دید قرار گرفته است افق‌های فوقانی به‌آسانی قابل‌تشخیص می‌باشد زیرا دارای رنگ تیره‌تری نسبت به افق‌های پایین می‌باشند گرچه تشخیص بعضی افق‌ها در این خاکرخ براساس رنگ به‌خصوص در عکس‌های سیاه و سفید بسیار مشکل می‌باشد یک نخ سفید برای مشخص‌کردن مرز بعضی از افق‌ها بر روی خاکرخ قرار گرفته است و یک بیلچه پر از خاک از هر خاکرخ جداکرده و برروی یک تخته افقی در سمت راست پهن گردید. مشخص شد چه خاک جدا شده و چه خاک جدا نشده در افق‌هایی که دارای رنگ بسیار مشابه هستند ممکن‌است دارای خصوصیات فیزیکی بسیار متفاوت باشند.

ریشه گیاهان و ریزجانداران، به‌خصوص در مناطق مرطوب، اغلب تا زیر افقB توسعه می‌یابند و سبب تغییرات شیمیایی در محلول خاک، مقداری هوادیدگی ـ شیمیایی رگولیت و تشکیل افق C می‌شوند افقC کمترین بخش هوا دیده خاک است.

در بعضی از خاکرخ‌ها افق‌های مربوطه از نظر رنگ بسیارمتمایز بوده و دارای مرزهای آشکار می‌باشند که حتی به‌وسیله نظاره‌گر مبتدی نیز قابل تشخیص می‌باشد. در خاک‌های دیگر تغییررنگ بین افق‌ها ممکن است بسیار تدریجی بوده و مشخص‌کردن مرز افق‌ها بسیار مشکل باشد. هرچند رنگ، یکی از خصوصیات بسیار متنوع است که به‌وسیله‌ی آن یک افق از افق بالایی و یا زیرین خود مشخص می‌شود (شکل ۱۳-۱). مطالعه‌ی خاک‌ها در شرایط صحرایی یک فعالیت بدنی و فکری است، جداسازی افق‌های موجود در خاکرخ اغلب نیازمند آزمون دقیق و استفاده از تمام اندام‌های حسی است. علاوه بر دیدن رنگ خاکرخ، یک خاک‌شناس باید خاک را لمس و بو کرده و به آن گوش دهد[1] و آزمایش‌های شیمیایی را برای مشخص‌کردن افق‌های موجود به‌انجام رساند.

۱-۹ خاک سطحی[2] و خاک تحت‌الارض[3]

به افق غنی اولیه‌ی A در سطح خاک بعضی مواقع خاک سطحی گفته می‌شود. وقتی یک خاک مورد شخم و شیار قرار می‌گیرد حالت طبیعی در ۲۵-۱۲ سانتی‌متر فوقانی تغییر می‌یابد در این حالت به خاک سطحی ممکن است واژه‌های طبقه‌ی شخم [4] و یا لایه‌ی شیاری[5] وقتی گاوآهن فرنگی لایه فوقانی خاک را بر می‌گرداند و یا به‌صورت لایه‌هایی آن‌ها را بر روی هم قرار دهد اطلاق گردد. درصورت ترک شخم، زمین شخم سالهای متمادی آشکار باقی خواهد ماند. برای مثال اگر شما در یک جنگل شاخص در نیوانگلند گردش کنید درختان بلندی را مشاهده می‌کنید که صدها سال عمر دارند. اگر یک چاله کوچک در کف جنگل حفر کنید ممکن است هنوز قادر باشید مرز صاف بین لایه شخم صد سال قبل را با خاک روشن بههم‌نخورده زیر آن مشاهده کنید.

در خاک‌های شخم‌خورده بخش اعظم ریشه‌ی گیاهی در خاک رویی یافت می‌شود (شکل۱۴-۱) خاک رویی دارای بخش اعظم عناصر غذایی و آب موردنیاز گیاهان می‌باشند. خصوصیات شیمیایی و فراهم عناصر خاک سطحی ممکن است با مخلوط‌کردن اصلاح‌کننده‌های آلی و معدنی به‌آسانی تغییر کند. بنابراین بهبود و یا حفظ حاصلخیزی خاک و تا حدی توان تولیدی آن امکان‌پذیر می‌شود. ساختار فیزیکی خاک سطحی، به‌خصوص در بخش نزدیکتر به سطح خاک، نیز همین‌طور به آسانی تحت عملیات مدیریتی مانند خاکورزی و کاربرد مواد آلی قرار می‌گیرد. حفظ یک ساختمان باز در سطح خاک به‌خصوص برای حفظ تعادل مقدار هوا و آب برای ریشه‌ی گیاهان و برای جلوگیری از هدررفت زیاد آب و خاک به‌وسیله‌ی رواناب حیاتی می‌باشد. بعضی مواقع لایه شخم از خاک جدا شده و به عنوان خاک سطحی برای استفاده در محل دیگر به فروش می‌رسد. این نوع استفاده از خاک سطحی برای ایجاد محیط رشد ریشه برای چمن‌ها و بوته‌ها در اطراف یک ساختمان جدید الاحداث که خاک سطحی اصلی آن برداشت و یا مدفون گردیده و خاک عمقی آن آشکار شده است بسیار مناسب می‌باشد. شکل (۱۵-۱).

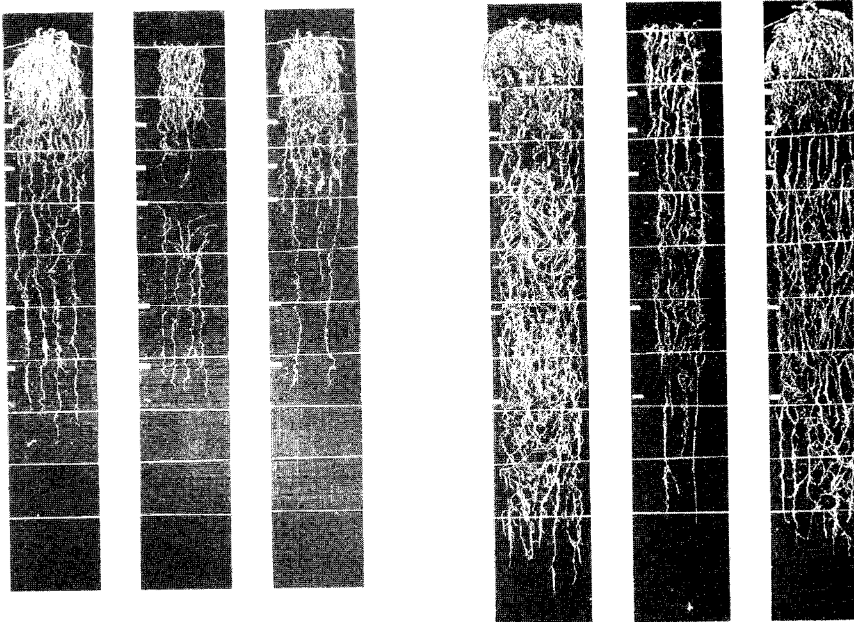
به لایه‌های خاک که در زیر خاک سطحی قرار گرفته است خاک تحت‌الارض گفته می‌شود. خاک تحت‌الارض در زیر عمق معمول خاک قرار دارد و بنابراین به‌طور معمول از سطح قابل مشاهده نیست. خصوصیات افق‌های تحت‌الارض می‌تواند در اکثر انواع کاربری مؤثر باشد. بخش بزرگی از آب مورد نیاز گیاهان در خاک تحت‌الارض ذخیره می‌شود. بسیاری از خاک‌های تحت‌الارض نیز مقدار مهمی از عناصر غذایی مشخص مورد نیاز گیاهان را فراهم می‌کنند. در بعضی از خاک‌ها تغییر بسیار بارزی در خصوصیات خاک رویی و خاک تحت‌الارض مشاهده می‌شود. در خاک‌های دیگر این تغییر تدریجی بوده و بخش فوقانی خاک تحت‌الارض ممکن است کاملاً شبیه خاک سطحی باشد. در اکثر خاک‌ها خصوصیات خاک سطحی سودمندتر از خاک تحت‌الارض برای رشد گیاه می‌باشد و این مشخص می‌سازد که چرا همبستگی خوبی بین توان تولید خاک و ضخامت خاک سطحی یک خاکرخ وجود دارد.

لایه‌های غیرقابل نفوذ و همچنین اسیدی خاک تحت‌الارض می‌توانند از توسعه‌ی ریشه گیاهان ممانعت کند. زه‌کشی ضعیف در خاک‌های تحت‌الارض می‌تواند سبب ایجاد آب ماندگی در خاک سطح‌الارض شود. به خاطر عدم دسترسی به خاک تحت‌الارض تغییر فیزیکی و

[1] - برای مثال صدای خشخش حاصل از خاک مرطوب در بین انگشتان دست بیانگر شنی‌بودن خاک است.

[2] - Topsoil
[3] - Subsoil
[4] - Plow Layer
[5] - Furrow Slice

شیمیایی آن بسیار مشکل و پرهزینه می‌باشد. از طرف دیگر کوددادن خوب در خاک سطحی می‌تواند سبب ایجاد گیاهان قوی گردد که ریشه‌های آن‌ها قادر به کاوش بیشتر در لایه‌های تحت‌الارض خواهد بود(شکل ١٤-١ وتابلو ١-١).



شکل ١٤-١ ریشه نباتات نسبت به شرایط مختلف که در افق‌های یک خاک با آن روبه‌رو می‌شوند عکس‌العمل نشان می‌دهند. ریشه تمایل دارد که در افق A نرم حاصلخیزتر و دارای تهویه بهتر از افق‌های زیرین توسعه پیدا کند. اصلاح حاصلخیزی خاک در افق A نه‌تنها سبب رشد ریشه در آن‌جا خواهد شد بلکه سبب افزایش قدرت و میزان توسعه‌ی نظام ریشه ژرفتر در خاکرخ نیز خواهد شد. ریشه‌های نشان داده شده در شکل از ذرت کشت‌شده در خاک‌های ایلینوی (سری سیزنه)[1] می‌باشد. سمت چپ کود شیمیایی و پس‌مانده‌های گیاهی دریافت نداشته و سمت راست هم کود شیمیایی و هم پس‌مانده‌های گیاهی دریافت داشته است.



شکل ۱۵-۱ تپه‌ی بزرگ مواد در این محل ساختمان سازی شامل خاک سطحی (مواد طبقه‌ی A) می‌باشد که با دقت از لایه‌های پایین جدا شده و در طول عملیات تسطیح به کنار زده و جمع گردیده است. این توده‌ی خاکی با بذر چمن کشت شده تا دارای پوشش حفاظی باشد. بعد از اتمام فعالیت‌های ساختمانی این توده‌ی خاک سطحی مجدداً در طراحی زمین‌های اطراف ساختمان جدید مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

1 - Cisne

بسیاری از فرایندهای شیمیایی، زیست‌شناسی و فیزیکی که خاک رویی را مشخص می‌سازد ممکن است تا حدی در افق C خاک‌ها نیز که به‌طور عمیق در مواد رگولیتی و ساپرولتی زیرین توسعه یافته انجام گیرد. به‌طور سنتی مرز پایین یک خاک جایی در نظر گرفته می‌شود که در پایین‌ترین عمق ریشه گیاهان طبیعی باشد، اما خاک‌شناسان لایه‌های زیر آن را برای فهم فرایندهای بوم زیستی مانند آلودگی آب زیرزمینی، هوادیدگی مواد مادری و چرخه‌های شیمی زمین مطالعه می‌کنند.

۱-۱۰ خاک: فصل مشترک هوا، کانی‌ها، آب و زندگی

بیان کردیم وقتی رگولیت با نیوار تلاقی می‌کند، دنیای هوا، سنگ، آب و اجسام زنده در هم ادغام می‌شوند. در واقع ٤ جزء ترکیبی خاک عبارتند از هوا، آب، کانی‌ها و ماده‌ی آلی، مقدار نسبی این چهار جزء ترکیبی، در رفتار و توان تولید خاک‌ها بسیار مؤثر است. در یک خاک این چهار جزء در حالت‌های پیچیده‌ای با هم مخلوط می‌شوند. گرچه نسبت حجم خاک که به‌وسیله‌ی هر یک اشغال می‌شود می‌تواند به‌وسیله‌ی یک طرح ساده معرفی گردد. شکل ۱۷-۱ بیانگر نسبت‌های تقریبی (حجمی) اجزاء ترکیبی در یک خاک لوم سطحی با شرایط خوب برای رشد گیاه می‌باشد. هر چند یک مشت پر از خاک ممکن است اول بار یک جسم جامد به‌نظر برسد اما باید توجه داد که تقریباً نصف حجم خاک از مواد جامد (مواد آلی و معدنی) تشکیل گردیده‌است. نصف دیگر شامل منافذ خاک است که به‌وسیله‌ی آب و هوا اشغال شده است. قسمت اعظم بخش جامد ماده معدنی است که از سنگ‌های پوسته‌ی زمین ایجاد گردیده و فقط حدود ٪۵ براساس حجم در یک خاک آرمانی از ماده آلی تشکیل شده است. هرچند تأثیر بخش ماده‌ی آلی در خصوصیات خاک اغلب به‌مراتب بیش‌ازآن‌است که از میزان نسبی اندک ماده‌ی آلی انتظار می‌رود. ازآن‌جاکه ماده‌ی آلی بسیار کم‌وزن‌تر از ماده‌ی معدنی است ماده‌ی آلی فقط ٪۲ وزن خاک را شامل می‌شود.

فضای بین مواد جامد در سرشت خاک درست به همان میزان مواد جامد مهم است. در این منافذ است که آب و هوا در گردش بوده و ریشه‌ی گیاهان رشد نموده و موجودات ذره‌بینی زندگی می‌کنند. ریشه گیاهان هم نیازمند آب و هم نیازمند هوا می‌باشد. در یک شرایط آرمانی برای اکثر گیاهان این فضا حدوداً به دو قسمت مساوی بین هر دو تقسیم می‌شود یعنی ۲۵ درصد حجم خاک شامل آب و ۲۵ درصد شامل هوا می‌باشد. اگر آب از این مقدار بیشتر شود خاک دچار آب‌ماندگی خواهد شد و اگر آب کمتری وجود داشته باشد گیاهان دچار تنش خشکی خواهند شد. میزان نسبی آب و هوا در یک خاک با اضافه‌شدن و کم‌شدن آب به‌شدت در نوسان خواهد بود. خاک که دارای بیش از ۵۰ درصد حجمی مواد جامد می‌باشند که احتمالاً برای رشد خوب نبات بسیارمتراکم باشد. درمقایسه با لایه‌های خاک سطحی، خاک زیرین دارای ماده‌ی آلی کمتر، حجم منافذ کل کمتر و نسبت بیشتری از منافذ کوچک (میکروپورها)[1] می‌باشد که بیشتر تمایل دارند از آب پر شوند.

۱-۱۱ کانی‌ها[2](مواد معدنی) تشکیل دهنده‌ی خاک

غیراز خاک‌های آلی، چهار چوب عمده‌ی ماده جامد خاک از کانی‌ها تشکیل شده است. ذرات درشت خاک که شامل سنگ‌ها، سنگ‌ریزه و شن درشت می‌باشد قطعات سنگی خاک در اندازه‌های مختلف می‌باشند. ذرات درشت‌تر اغلب از مجموع چند کانی مختلف تشکیل شده‌اند. ذرات خیلی کوچک‌تر به‌نظر می‌رسند که از یک نوع کانی تشکیل شده‌اند. بنابراین، یک خاک به‌خصوص از ذراتی تشکیل شده ست که از نظر اندازه و ترکیب بسیار متغیر است.

اندازه‌ی ذرات کانی در خاک بسیارمتغیر است. چنان‌چه درحال حاضر قطعات بزرگ مانند سنگ و سنگ‌ریزه را به‌شمار نیاوریم، ذرات معدنی حاضر در خاک‌ها از نظر اندازه در ٤ رده از بزرگی قرار دارند که از ۲ میلیمتر تا ۰/۰۰۰۲ میلیمتر قطر متغیر است (جدول۲-۱).

1- Micropores

2 – کلمه‌ی کانی به‌وسیله‌ی خاک‌شناسان به ۳ طریق مورد استفاده می‌باشد. ۱- صفت عمومی برای تشریح مواد معدنی حاصل از سنگ‌ها ۲- یک اسم خاص برای مراجعه به یک کانی خاص موجود در طبیعت مانند کوارتز و فلدسپات (فصل دوم را برای بحث مفصل بر روی کانیهای مؤثر در تشکیل خاک و سنگ‌هایی که در آنها یافت می‌شوند مطالعه کنید) ۳- بعنوان یک صفت برای تشریح عناصر شیمیایی مانند ازت و فسفر در حالت معدنی در مقایسه با حضور آبها در بخشی از ترکیبات آلی

۲ – سامانه‌های کلوییدی : دارای دو حالت می‌باشند که در آن ذرات بسیار کوچک در یک محیط با ماده متفاوت انتشارمی‌یابد. رس و ذرات آلی خاک با قطر کوچکتر از ۰/۰۰۱ (میکرون) از نظر اندازه کلوییدی به حساب می‌آیند. نمونه‌های دیگر سامانه کلوییدی که در آن ذرات خیلی کوچک جامد در یک محیط مایع انتشار یافته‌اند شیر و خون می‌باشد.

ذرات ماسه احتمالاً بیشتر از باقی اجزاء برای ما آشنا باشند. ذرات انفرادی ماسه به اندازه کافی درشت می‌باشند (۰/۰۵-۲میلیمتر) و با چشم عادی قابل مشاهده بوده و درصورت مالش دربین انگشتان دارای زبری می‌باشند. ذرات ماسه به همدیگر نمی‌چسبند بنابراین در آن‌ها احساس چسبندگی نمی‌شود.

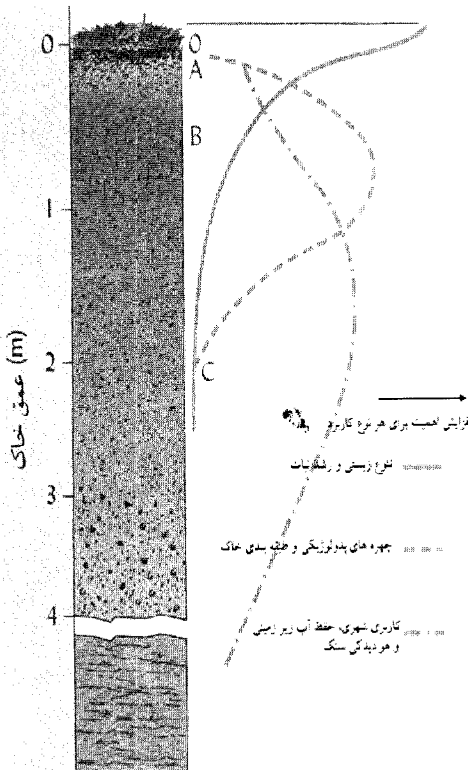
تابلو ۱-۱ استفاده از اطلاعات کل خاکرخ

خاک‌ها اجسام سه بعدی می‌باشند که فرایندهای مهم بوم‌سامان را در تمام اعماق خاکرخ خود انجام می‌دهند. اطلاعات لازم برای اتخاذ تصمیمهای مدیریتی بسته به نوع کاربری از لایه‌های کم‌عمق مانند ۱ تا ۲ سانتی‌متر فوقانی تا لایه‌های عمیق مانند پایین‌ترین بخش ساپرولیت متفاوت می‌باشد(شکل ۱۶-۱).

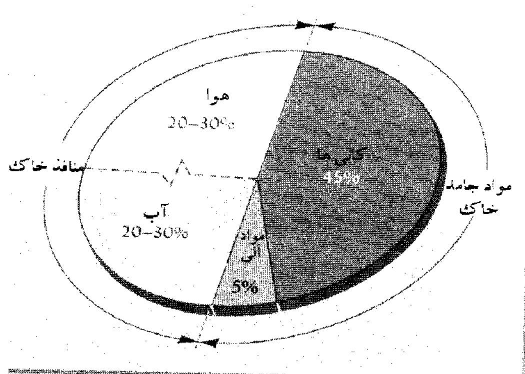
برای مثال چند سانتی‌متر فوقانی بالای خاک سطحی کلید رشد گیاهی وتنوع زیستی و همچنین فرایندهای خاص آبشناسی را در دست دارد. اینجا، در حدفاصل خاک و نیوار موجودات زنده بسیارفراوان و متنوع می‌باشند. درختان جنگلی برای جذب عناصر غذایی به‌طور عمده وابسته به پوشش تراکم ریشه درختان در این منطقه می‌باشند. شرایط فیزیکی این لایه نازک سطحی ممکن‌است تعیین کند که آیا باران به‌داخل نفوذ کرده و یا در سطح خاک به پایین تپه جاری خواهد شد. آلاینده‌های خاص مانند سرب از دودکش اتومبیل‌ها در بزرگراه‌ها نیز در این ناحیه متمرکز شده است. در بسیاری از بررسیهای خاک‌شناسی لازم است که از چند سانتی‌متر فوقانی جداگانه نمونه گیری بعمل آمد تا شرایط عمده مورد مسامحه قرار نگیرد.

از طرف دیگر همین قدر مهم است که در بسیاری از خصوصیات خاک که فقط از لایه‌های عمیق خاک قابل اکتساب است نباید توجه خود را به خاک‌های سطحی سهل الوصول معطوف داریم. مسایل رشد نبات معمولاً در ارتباط با شرایط نامناسب در افق B و یا C که سبب محدودیت انتشار ریشه است میباشد. همین‌طور حجم بزرگی از این لایه‌های عمقی ممکن است تعیین‌کننده‌ی مقدار آب قابل استفاده نبات به‌وسیله‌ی خاک باشد. برای تشخیص و تهیه‌ی نقشه‌ی خاک‌های مختلف خصوصیات طبقه‌ی B اغلب دارای بالاترین اهمیت می‌باشد. این افق نه‌تنها محل عمده تمرکز کانی‌ها و رس می‌باشد بلکه لایه‌های نزدیکتر سطح خاک به‌وسیله‌ی مدیریت و فرسایش خاک چنان سریع دچار تغییرمی‌شوند که نمی‌توانند به‌عنوان یک منبع قابل‌اعتماد برای طبقه‌بندی خاک‌ها مورد استفاده قرار گیرند.

در رگولیت‌های هوادیده عمیق افق‌های زیرین C و ساپرولیت نقش عمده‌ای ایفا می‌کنند. این لایه‌ها معمولاً در عمق بیشتر از ۱ تا ۲ متر و گاهی تا عمق ۱۰-۵ متر در تناسب خاک برای اکثر کاربریهای شهری که شامل حفاری و ساخت است مؤثر می‌باشد. کارایی نظام‌های دفع فاضلاب در محل و پایداری شالوده‌ی ساختمان‌ها اغلب به‌وسیله‌ی خصوصیات رگولیت در این عمق تعیین می‌شود. همین‌طور، فرایندهایی که حرکت آلاینده‌ها به‌داخل آب زیرزمینی و هوادیدگی مواد زمین شناختی را اداره می‌کند ممکن است در اعماق چند متری صورت گیرند. این لایه‌های عمیق همچنین دارای تأثیر عمده بوم‌شناختی می‌باشند زیرا گرچه شدت فعالیت‌های زیستی و ریشه دوانی ممکن است کاملاً پایین باشد. تأثیر کلی به‌خاطر حجم زیاد خاک که دخیل است بسیار بزرگ می‌باشد. این امر در نظام جنگل در اقالیم گرم به‌خصوص صادق است.



شکل ۱۶-۱ اطلاعات مهم در مورد وظایف مختلف خاک و کاربردهای آن با احتمال زیاد با مطالعه لایه‌های مختلف خاکرخ قابل استحصال است.



شکل ۱۷-۱ ترکیب حجمی یک خاک بوم سطحی که شرایط آن برای رشد گیاه مطلوب است، خط بین آب و هوا بیانگر آن است که نسبت بین این دو جزء با خشک‌ترشدن و یا مرطوب‌ترشدن خاک درحال نوسان است هر چند یک نسبت مساوی بین آب و هوا معمولاً برای رشد گیاهان آرمانی می‌باشد

ذرات لای (سیلت) مقداری کوچک‌تر از ذرات ماسه می‌باشد (۰/۰۰۲ -۰/۰۵ میلیمتر) این ذرات بسیار کوچک هستند و غیراز میکروسکوپ با چشم عادی قابل مشاهده نبوده و یا به‌تنهایی قابل درک‌کردن نیستند. لمس لای احساس صابونی‌بودن و یا صاف‌بودن (بدون چسبیدگی) را حتی در شرایط تر تداعی می‌کند. کوچک‌ترین کلاس ذرات خاک رس‌ها (۰/۰۰۲ میلیمتر) که به همدیگر چسبیده و تولید یک توده‌ی چسبناک را در حالت تر و کلوخه‌های سخت را درحالت خشک می‌کند. ذرات کوچک‌تر از ۰/۰۰۱ میلیمتر رس (و ذرات آلی هم اندازه رس‌ها) دارای خاصیت کلوییدی[1] می‌باشند و فقط با کمک میکروسکوپهای الکترونی دیده می‌شوند. به‌دلیل اندازه خیلی کوچک، ذرات کلوییدی دارای سطح بسیار زیادی در واحد جرم (سطح مخصوص) می‌باشند. ازآن‌جاکه سطح کلوییدها (آلی و معدنی) دارای بار الکترومغناطیسی است که سبب جذب یون‌های مثبت و منفی و همچنین آب می‌شوند. این بخش از خاک جایگاه مهمترین فعالیتهای فیزیکی و شیمیایی خاک می‌باشد.

نسبت ذرات در این اندازه‌های مختلف بافت خاک[2] نامیده می‌شود. واژه‌گانی چون لوم شنی، رس سیلتی، لوم رسی برای تعیین بافت خاک بکار می‌رود. بافت اثر چشمگیری بر بسیاری از خصوصیات خاک دارد و درتناسب آن برای اکثر کاربریها اثرگذار است. برای درک میزان تأثیر خصوصیات خاک به‌وسیله‌ی بافت تصور کنید که شما با لباس شنا اول در یک ساحل شنی و بعد در یک ساحل با رس چسبنده دراز کشیده‌اید. تفاوت در بین این دو تجربه عمدتاً به‌خاطر خصوصیتی است که در سطرهای ۵ و ۷ جدول ۲-۱ آمده است. سایر خصوصیات که در ارتباط با اندازه ذرات است همچنین در جدول ۲-۱ آمده است. توجه کنید که ذرات در اندازه رس نقش غالبی در نگهداری مواد شیمیایی معدنی و عرضه‌ی عناصر غذایی برای گیاهان دارند.

برای پیش‌بینی نقش رس در نحوه‌ی رفتار خاک کافی نخواهد بود که فقط مقدار رس را در خاک بدانیم، بلکه لازم است انواع رس‌های موجود را نیز بشناسیم. همان‌طورکه سازندگان منازل و مهندسین شاهراه‌ها همگی به‌خوبی می‌دانند که خاک‌های رسی خاص، یعنی آن‌ها که دارای مقدار بسیاری رس اسمکتیت می‌باشند، خصوصیات بسیار ناپایداری برای ایجاد ساختمان بر روی خود ارائه می‌دهند زیرا رس‌ها درصورت مرطوب‌بودن خاک انبساط یافته و درصورت خشک‌شدن انقباض می‌یابند. این انبساط و انقباض می‌توانند سبب ترک‌خوردن شالوده‌ها و فروپاشی دیوارهای محافظ سنگین شود. این رس‌ها هنگامی‌که تر می‌باشند بسیارچسبنده گردیده و کارکردن بر روی آن‌ها مشکل می‌باشد. دیگر انواع رس، که در شرایط مختلفی ایجاد شده‌اند می‌توانند خیلی پایدار بوده و کارکردن با آن‌ها آسان باشد. آشنایی با کانی‌های مختلف رسی به ما کمک می‌کند که بسیاری تفاوتها را در مورد خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های جهان درک کنیم.

کانی‌های اولیه و ثانویه

کانی‌های که ترکیب آن‌ها از هنگام جریان مواد مذاب دچار تغییر اندکی شده‌است. (مانند کوارتز، میکا و فلدسپار). کانی‌های اولیه نامیده می‌شوند. این کانی‌ها در بخش شن ولای خاک‌ها به وفور وجود دارند. سایر کانی‌ها مثل رس‌های سیلیکاتی و اکسیدهای آهن بر اثر تخریب و هوادیدگی کانی‌ها با مقاومت کمتر در طول فرایند خاک‌سازی تشکیل شده اند. این کانی‌ها، کانی‌های ثانویه نامیده می‌شوند و در بخش رس و بعضی مواقع لای غالب می‌باشند کانی‌های معدنی منبع اصلی اکثر عناصر شیمیایی لازمه رشد نبات می‌باشند، بخش عمده‌ی این عناصر غذایی به‌صورت بسیار قوی در ساختمان بلوری کانی‌ها نگهداری می‌شوند. بخش کوچک اما مهمی از آن‌ها به‌صورت یون‌های

---
1 - Colloidal Properties
2 - Soil Texture

باردار بر روی سطح ذرات کلوییدی بسیار ریز (رس‌ها و مواد آلی) قرا دارند. در سازوکارهای بسیار حیاتی برای رشد نباتات، ریشه گیاهان امکان دست یابی به این سطوح نگهدارنده ین‌ها را پیدا می‌کنند (فصل ۱۶-۱)

تابلو ۲-۱ مشاهده خاک‌ها در زندگی روزمره

مطالعه‌ی شما در خاک‌ها وقتی غنی خواهد شد که تلاش کنید از بسیاری ارتباطات روزمره با خاک‌ها و تأثیر آن‌ها که بی‌خبر بر روی بسیاری از مردمان اعمال می‌شود آگاه گردید. وقتی یک چاله حفر می‌کنید که یک درخت را غرس کرده و یا یک پایه حصارکشی را نصب کنند به افق‌های مختلف که با آن روبه‌رو می‌شویم توجه نموده و دقت کنند که چگونه خاک هر لایه دارای رنگ و درک متفاوتی می‌باشد. اگر از کنار یک محل ساختمان‌سازی عبور کند یک لحظه مشاهده افق‌های ظاهرشده بر اثر حفاری توجه کنید. یک مسافرت با هواپیما فرصت بزرگی برای مشاهده تغییرات خاک‌ها در چشم‌انداز و یا اقالیم آب‌وهوایی می‌باشد. اگر در طول ساعات روز پرواز می‌کنید خواستار صندلی کنار پنجره باشید. به اشکال خاک‌های انفرادی در اراضی شخم‌زده در پاییز و بهار تماشا کنید(شکل ۱۸-۱).

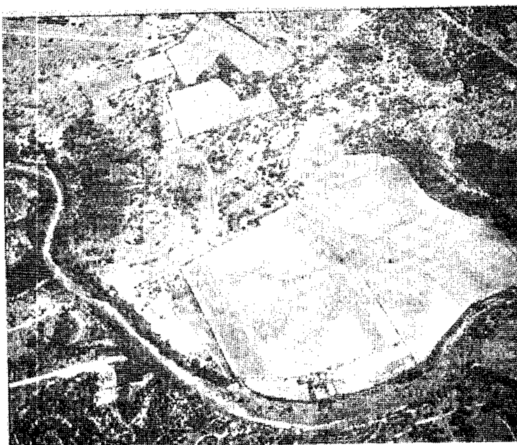
خاک‌ها به شما دلایلی برای فهم فرایندهای طبیعی که در اطراف شما تداوم دارند ارایه می‌دهد. در کنار رودخانه از یک ذره‌بین برای مشاهده ذرات شن ته‌نشین شده در کف و کناره‌ها استفاده کنید. ممکن است شامل کانی‌های باشد که در خاک و سنگ‌های اطراف موجود نباشد، اما از کیلومترها فاصله در بالادست رودخانه ناشی شده باشد. وقتی اتومبیل خود را می‌شویید مشاهده کنید که گل چسبیده به لاستیک و گلگیرها دارای رنگ و پایداری متفاوتی با خاک‌های نزدیک منزل شما دارد. آیا گل روی اتومبیل شما می‌گویند که کجا رانندگی کرده‌اید. تحقیقات پزشک قانونی در مشورت با دانشمندان خاک برای مشخص‌کردن محل جرم و شناخت جرم با مقایسه خاک چسبیده به کفش. لاستیک اتومبیل و یا ادوات با خاک محل وقوع جرم مشهور می‌باشند.

سایر نمونه‌ها از بقایای خاک می‌تواند حتی نزدیکتر به منزل یافت شود. بار دیگر که کرفس یا کاهو را از سوپرمارکت به منزل می‌آورید به‌دقت به ذرات کوچک خاک که به ته برگها و یا ساقه چسبیده است نگاه کنید (شکل ۱۹-۱). خاک را بین انگشتان شست و دیگر انگشتان بمالید. خاک نرم بسیار سیاه ممکن است حاکی از این باشد که کاهو در خاک‌های ماک، مانند خاک‌های ایالت نیویورک و یا جنوب فلوریدا کاشته شده باشند. خاک‌های قهوه‌ای روشن با لمس صافی با زبری خیلی کم شاخص محصولات کاسته شده در کالیفرنیا می‌باشد. خاک‌های زبر با رنگ روشن معمول جنوب جورجیا، شمال فلوریدا که منطقه کشت سبزیها است می‌باشد. در یک کیسه‌ی لوبیای خشک پینتو ممکن است به تکه‌های خاک که به‌دلیل هم اندازه با دانه‌های لوبیا در مرحله پاک‌کردن جدا نشده است برخورد کنید این خاک تیره رنگ و خیلی چسبناک از منطقه تومب میشگان که بخش بزرگی از لوبیا خشک آمریکا کشت می‌شود می‌باشد.

امکان ملاحظه‌ی خاک‌ها در زندگی روزمره از مقیاس کوچک تا مقیاس بزرگ و از بسیارآشکار تا پنهان متغیر است. همان‌طورکه به دانش بیشتری از خاک دست می‌یابید شما بدون شک می‌توانید نمونه‌های بیشتری از تأثیر آن‌ها در اطراف خود مشاهده کنند.



شکل ۱۹-۱ گرچه این کاهو در یک مغازه‌ی خواروبارفروشی ویرجینیای در اول پاییز خریداری شده خاک سیاه ماک چسبیده به پایه برگ‌ها بیانگر آن است که در خاک‌های آلی احتمالاً در نیویورک کشت شده باشد.



شکل ۱۸-۱ خاک‌ها با رنگ روشن و تیره همان‌طورکه در هواپیما بر فراز تگزاس مرکزی مشاهده می‌شوند، بیانگر تفاوت در زه‌کشی و پستی و بلندی می‌باشد.

ساختمان خاک

ذرات شن، لای و رس را باید به عنوان قطعات ساختمانی که ساختمان خاک را می‌سازند درنظر گرفت، حالتی که این قطعات ساختمانی چیده می‌شوند ساختمان خاک نام دارد. این ذرات ممکن است تقریباً مستقل از همدیگر باقی بمانند، اما اغلب با همدیگر به‌صورت خاکدانه‌های با اندازه‌های مختلف تجمع می‌یابند. این خاکدانه‌ها ممکن است دارای شکل دانه‌ای گِرد، قطعات مکعبی، بشقابی سطح و یا سایر باشند. ساختمان خاک (شیوه‌ای که ذرات نظم و ترتیب می‌یابند) به همان اهمیت بافت خاک (میزان نسبی ذرات با اندازه‌های مختلف) در چگونگی حرکت آب‌وهوا به داخل خاک مؤثر می‌باشند. ساختمان و بافت خاک هر دو برای تناسب خاک جهت رشد ریشه‌های نبات دارای اثرات اساسی می‌باشند.

جدول ۲-۱ بعضی از خصوصیات عمومی سه کلاس عمده اندازه ذرات خاک‌های معدنی

خصوصیت	ماسه	لای	رس
۱- دانه‌بندی اندازه قطر ذرات میلیمتر	۲- ۰/۰۵	۰/۰۵-۰/۰۰۲	۰/۰۰۲>
۲- وسیله‌ی مشاهده	چشم عادی	میکروسکوپ	میکروسکوپ الکترونی
۳- کانی‌های عمده	اولیه	اولیه و ثانویه	ثانویه
٤- میزان جذب ذرات با همدیگر	کم	متوسط	زیاد
۵- میزان کشش ذرات برای جذب آب	متوسط	متوسط	زیاد
٦- توانایی نگهداری مواد شیمیایی و عناصر غذایی برای استفاده نبات	بسیار کم	کم	زیاد
۷- پایداری در حالت تر	سست و زبر	نرم	چسبنده و شکل‌پذیر
۸- پایداری در حالت خشک	سست و زبر	گرد مانند تاحدی کلوخه	کلوخه‌ی سخت

۱-۱۲ مادهی آلی خاک

مادهی آلی خاک از مواد آلی (مواد کربن‌دار) بسیار متنوعی تشکیل شده است که شامل موجودات زنده (زیتوده خاک) بقایای کربن دار موجوداتی که زمانی خاک را تسخیر کرده‌بودند و ترکیبات آلی تولید شده به‌وسیله‌ی سوخت‌وساز جاری و قدیم در خاک می‌باشد. بقایای گیاهان و جانوران و موجودات ذره‌بینی دایماً در خاک تجزیه شده و مواد جدید به‌وسیله‌ی سایر موجودات میکروسکوپی بازسازی می‌شوند. در طول زمان، که از یک ساعت تا قرنها متغیر است، ماده‌ی آلی خاک به‌صورت گازکربنیک حاصل از تنفس میکروبی از دست می‌رود. به‌خاطر این هدررفت اضافه‌کردن مرتب بقایای جدید نباتی وجانوری برای حفظ مقدار ماده‌ی آلی خاک لازم می‌باشد

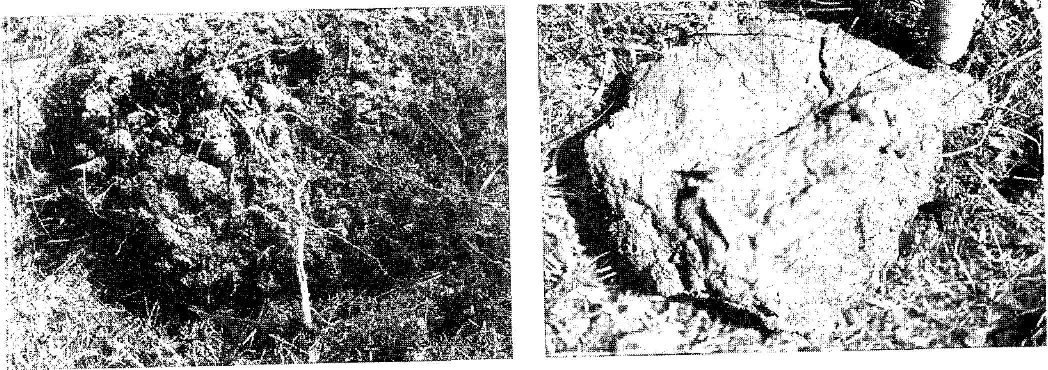
در شرایطی که برای تولید گیاهی بسیار مناسب‌تر از تجزیه‌ی میکروبی است مقدار زیادی از گازکربنیک نیوار به‌وسیله‌ی گیاهان در فرایند فتوسنتز در بافتهای فراوان گیاهی مصرف گشته و به بخشی از ماده‌ی آلی تبدیل می‌شوند. از آنجاکه گازکربنیک یکی از علل عمده اثرات گلخانه‌ای است که عقیده بر آن است سبب گرم‌شدن نیوار زمین می‌شود، تعادل بین تجمع ماده‌ی آلی خاک و هدررفت آن به‌وسیله‌ی تنفس میکروبی دارای کاربرد جهانی می‌باشد. درواقع کربن بیشتری در خاک‌های دنیا در مقایسه با مجموع زیتوده نباتی جهان و نیوار وجود دارد.

با این وصف، کربن آلی فقط بخش کوچکی از جرم یک توده‌ی خاک را تشکیل داده است. خاک‌های نمونه معدنی سطحی با زه‌کشی خوب دارای ۱ تا ٦ درصد ماده‌ی آلی می‌باشند. میزان ماده‌ی آلی خاک تحت‌الارض حتی از این مقدار کمتر است. هرچند تأثیر ماده‌ی آلی در خصوصیات خاک، و نهایتاً رشد گیاهی بسیار بیستر از آن است که از درصد اندک ماده‌ی آلی انتظار می‌رود.

ماده‌ی آلی سبب پیوند ذرات معدنی در یک ساختمان دانه‌دانه‌ای است که به‌طور عمده علت اصلی ایجاد شرایط خاک نرم با مدیریت آسان در خاک‌های بارور است. بخشی از ماده‌ی آلی خاک که به‌طور خاص در تثبیت این خاکدانه‌ها مؤثر هستند از مواد چسب‌مانند تشکیل شده‌اند که به‌وسیله‌ی موجودات مختلف از جمله ریشه‌ی گیاه تولید می‌شوند (شکل ۲۰-۱).

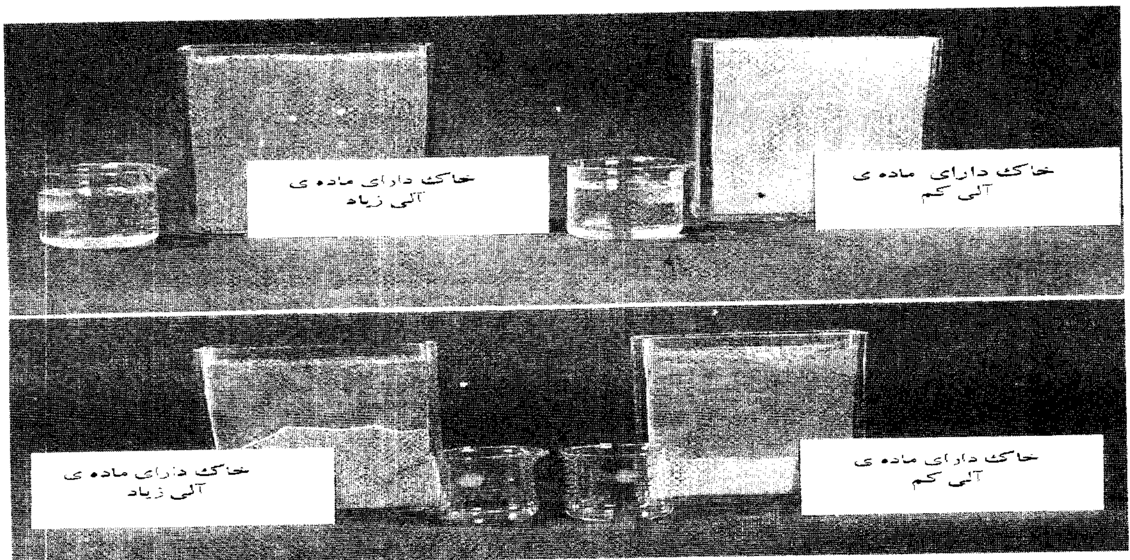
ماده‌ی آلی همچنین مقدار آب قابل نگهداری و بخشی از آب استفاده‌ی نبات را افزایش می‌دهد (شکل ۲۱-۱) به‌علاوه ماده‌ی آلی منبع عمده‌ی عناصر غذایی گیاهی مانند فسفر، گوگرد، و منبع اولیه‌ی ازت برای بسیاری از نباتات می‌باشد. با پوسیده‌شدن ماده‌ی آلی، این عناصر

غذایی که در ترکیبات آلی یافت می‌شوند به‌صورت یون‌های محلول آزاد می‌شوند که می‌توانند به‌وسیله‌ی ریشه‌ی گیاهان جذب شوند. نهایتاً، ماده‌ی آلی، از جمله پس‌مانده‌های گیاهی و جانوری غذای اصلی فراهم‌کننده کربن و انرژی برای موجودات خاک است. بدون آن‌ها فعالیت‌های زیست‌شیمی که برای ایفای نقش بوم‌سامان‌ها لازم است متوقف خواهند شد.



شکل ۲۰-۱ ماده‌ی آلی فراوان شامل ریشه‌ی گیاهان در ایجاد خصوصیات شیمیایی مطلوب برای رشد گیاهان عالی و همچنین میکروب‌ها (چپ عکس) کمک می‌کند. برعکس، خاک‌های فقیر از نظر ماده‌ی آلی به‌ویژه اگر درصد رس و لای آن‌ها بالا باشد اغلب کلوخه‌ای (راست عکس) بوده و برای رشد بهینه‌ی گیاه مناسب نمی‌باشند.

هموس، که معمولاً دارای رنگ سیاه و یا قهوه‌ای می‌باشد، مجموعه‌ای از ترکیبات بسیار پیچیده آلی است که در داخل خاک به‌دلیل مقاومت نسبی آن به تجزیه تجمع می‌یابد همانند رس که بخش کلوییدی مواد جامد خاک را می‌باشد هموس بخش کلوییدی ماده‌ی آلی خاک را فراهم می‌آورد. به‌خاطر سطوح باردار آن‌ها، هموس و رس هردو به‌عنوان پل ارتباطی بین ذرات درشت خاک عمل می‌کنند، بنابراین، هر دو نقش مهمی را در ایجاد ساختمان خاک بازی می‌کنند. بار سطحی هموس مانند رس سبب جذب و نگهداری آب و یون‌ها می‌شود، هرچند در جرم‌های برابر، ظرفیت هموس در نگهداری آب و عناصر غذایی بسیار بیشتر از رس می‌باشد. برخلاف رس، هموس شامل ترکیبات به‌خصوصی است که دارای اثرات محرک هورمون مانند در گیاهان است. مقدار اندک هموس به‌طور قابل ملاحظه‌ای ظرفیت خاک را برای رشد نبات افزایش می‌دهد.



شکل ۲۱-۱ خاک‌ها دارای ماده‌ی آلی زیادتر دارای رنگ تیره‌تر و ظرفیت آب قابل‌استفاده‌ی بیشتری از خاک‌های دارای ماده‌ی آلی کمتر می‌باشند. خاک موجود در هر دو ظرف دارای بافت یکسان بوده اما خاک سمت راست از بیشتر ماده‌ی آلی آن تهی شده است. مقدار آب مساوی به هر ظرف اضافه گردید همان‌طورکه عکس پایین نشان می‌دهد عمق دخول آب در ظرف دارای ماده‌ی آلی زیادتر، به‌دلیل ظرفیت نگهداری بالای آب، کمتر می‌باشد حجم بیشتری از خاک با ماده‌ی آلی کمتر لازم است تا همان مقدار آب را نگهداری کند.

۱۳-۱ محلول خاک : یک محلول پویا

آب در ایفای نقش زیست بوم خاک‌ها دارای اهمیت حیاتی می‌باشد، حضور آب در خاک برای بقا و رشد گیاهان و دیگر موجودات زنده خاک اساسی است. رژیم رطوبتی خاک که اغلب منعکس‌کننده‌ی عوامل اقلیمی است، مشخص‌کننده توان تولید در بوم‌سامان‌های زیستی از جمله کشاورزی است. حرکت آب و مواد محلول در آن و در داخل خاکرخ خاک دارای پی‌آمدهای مهمی در کیفیت و کمیت منابع آب محلی و منطقه‌ای می‌باشد. حرکت آب در داخل رگولیت نیز عامل محرک عمده در تشکیل خاک است.

دو عامل عمده مشخص می‌کنند که چرا محلول خاک از تصور هر روز ما، مثلاً با آب آشامیدنی در یک لیوان، متفاوت می‌باشد.

۱- آب در داخل منافذ خاک با درجات مختلف کشش براساس مقدار آب موجود و اندازه‌ی منافذ نگهداری می‌شود. نیروی کشش بین آب و سطح ذرات خاک توانایی آب را برای جاری‌شدن، همانند آبی که از یک لیوان روان می‌شود کاهش می‌دهد.

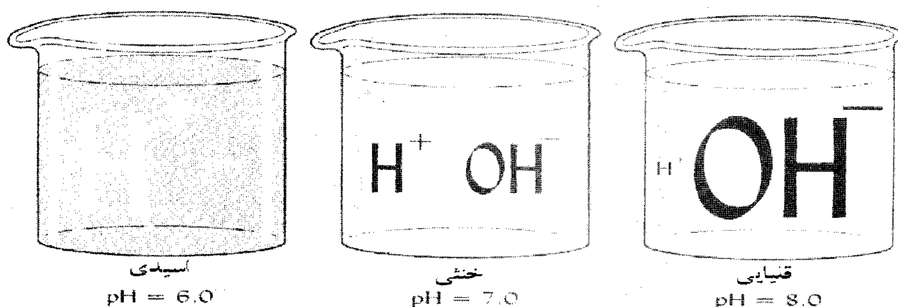
۲- ازآنجایی‌که محلول خاک هیچوقت خالص نیست و حاوی صدها مواد محلول آلی و معدنی می‌باشد، درست‌تر آن است که آنرا محلول خاک بنامیم. یک نقش مهم محلول خاک کارکرد آن به‌عنوان یک محلول رقیق با قابلیت جایگزینی مداوم است که عناصر غذایی محلول (کلسیم، پتاسیم، ازت و فسفر) را به ریشه‌ی گیاهان انتقال می‌دهد.

وقتی میزان رطوبت خاک برای رشد نبات بهینه باشد (شکل ۱۷-۱) آب می‌تواند در داخل منافذ درشت و متوسط خاک حرکت کرده و به‌وسیله‌ی گیاهان مورد استفاده قرار گیرد. پس از برداشت بخشی از آب به‌وسیله‌ی گیاهان درحال رشد، آنچه باقی می‌ماند در منافذ کوچک، و به‌صورت پوسته‌های نازکی در دور ذرات خاک قرار دارد. ذرات جامد خاک این آب را به‌شدت جذب کرده و با ریشه گیاهان برای نگهداری آن به رقابت خواهند پرداخت، بنابراین، تمام محلول خاک برای نباتات قابل استفاده نیست. بسته به نوع خاک ۱/۴ تا ۲/۳ رطوبت بعد از آنکه گیاهان از کمبود آب دچار پژمردگی و یا مرگ گردند، در خاک باقی می‌ماند.

محلول خاک

محلول خاک حاوی مقادیر اندک اما مهمی از ترکیبات محلول معدنی است که بعضی از آن‌ها عناصری را که برای رشد گیاه اساسی می‌باشد عرضه می‌کند. به جدول ۱-۱ در مورد ۱۸ عنصر اساسی همراه منابع آن مراجعه کنید. مواد جامد خاک، به‌خصوص ذرات ریز کلوییدی آلی و معدنی این عناصر را به محلول خاک که به‌وسیله‌ی گیاهان جذب گردیده‌اند مجدداً عرضه می‌کند. چنین تبادلات، که برای گیاهان عالی حیاتی می‌باشند وابسته به محلول خاک و ذرات کوچک جامد خاک است.

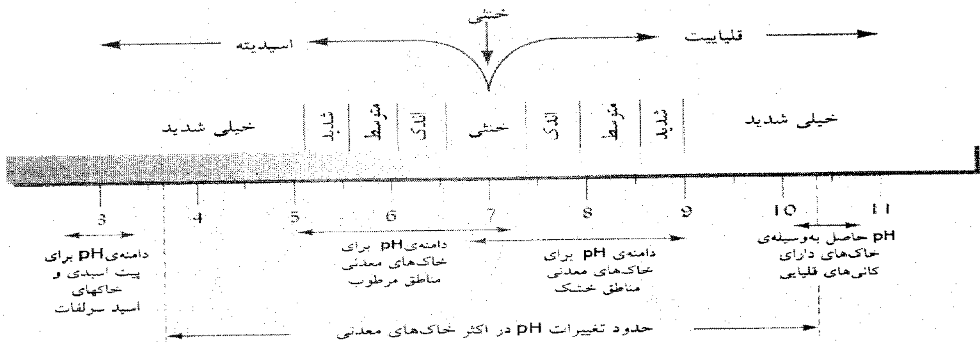
یکی دیگر از خصوصیات اساسی محلول خاک اسیدی و یا قلیایی‌بودن آن است. بسیاری ازواکنش‌های شیمیایی و زیستی به مقادیر ین‌های H^+ و OH^- در محلول خاک وابستگی دارد. مقدار این ین‌ها، در حلالیت و درنتیجه در قابلیت استفاده چندین عنصر اساسی (از جمله آهن و منگنز)، برای نباتات مؤثر است.



شکل ۲۲-۱ معرفی اسیدی‌بودن، قلیاییت و خنثی‌بودن خاک به‌صورت نمایشی. در محدوده‌ی خنثی ین‌های H^+ و OH^- محلول در تعادل بوده و مقدار نسبی آن‌ها برابر خواهد بود. (pH =7) در pH معادل ٦ ین‌های H^+ غالب و غلظت آن‌ها ۱۰ برابر نسبت به حالت اول بیشتر خواهد بود. و ین‌های OH^- نیز به نسبت کاهش خواهد یافت و به ۱/۱۰ مقدار قبلی خواهد رسید. بنابراین در pH معادل ٦ اسیدی خواهد بود و میزان H^+ ۱۰۰ برابر بیشتر از مقدار OH^- می‌باشد. در pH معادل ۸ دقیقاً عکس حالت قبلی است. ین‌های OH ۱۰۰ برابر بیشتر از ین‌های H^+ خواهد بود. بنابراین خاک در pH ۸ قلیایی می‌باشد. این روابط متقابل بر عکس. باید در هنگام استفاده از اطلاعات pH در نظر گرفته شوند.

غلظت یون‌های H^+ و OH^- در محلول خاک معمولاً با اندازه گیری pH محلول خاک مشخص می‌شود. از نظر فنی pH عبارتست از لگاریتم منفی غلظت یون H^+ در محلول خاک. شکل ۲۲-۱ به سادگی رابطه بین pH و غلظت یون‌های H^+ و OH^- را نشان می‌دهد. شکل ۲۳-۱ که بیانگر دامنه‌ی تغییرات pH است و معمولاً در خاک‌های اقالیم مختلف با آن مواجه می‌باشیم باید به‌دقت مورد مطالعه قرار گیرد.

pH که بعضی مواقع به عنوان متغیر اصلی نامیده می‌شود. سرشت بسیاری از واکنش‌های شیمیایی و میکروبی را در خاک تعیین می‌کند و دارای اهمیت بالایی در تمام جنبه‌های اساسی دانش خاک‌شناسی است.



شکل ۲۳-۱ : دامنه‌ی pH برای اکثر خاک‌های معدنی و دامنه‌های که معمولاً در مناطق مرطوب و خشک یافت می‌شوند. حداکثر قلیاییت برای خاک‌های قلیایی و حداقل pH که در خاک‌های پیت خیلی اسیدی یافت می‌شوند نیز مشخص شده است.

۱۴-۱ هوای خاک یک مخلوط درحال تغییر از خاک‌ها

نصف حجم خاک تقریباً از منافذ با اندازه‌های مختلف تشکیل شده است (به شکل ۱۷-۱ مراجعه کنید) که با آب و یا هوا پر شده است وقتی آب داخل خاک می‌شود در بعضی منافذ جایگزین هوا می‌شود. بنابراین، میزان هوای خاک در ارتباط معکوس با میزان آب در خاک است. اگر به شبکه منافذ خاک به عنوان نظام تهویه‌ای خاک که منافذ را به نیوار ارتباط می‌دهد توجه داشته باشیم می‌توانیم این موضوع را درک کنیم که زمانی منافذ کوچک خاک به‌وسیله‌ی آب پر شوند، سامانه‌ی تهویه‌ی خاک مسدود خواهد شد. فکر کنید اگر مجرای تهویه کلاس درس مسدود باشد، هوا چقدر خفه‌کننده خواهد بود زیرا امکان ورود اکسیژن به داخل اطاق وجود نداشته و گازکربنیک نیز خارج نخواهد شد، هوای اطاق بزودی از اکسیژن عاری شده و از گازکربنیک و بخار آب حاصل از تنفس داخل اطاق مملو خواهد شد. در یک منفذ داخل خاک که مملو از هوا بوده و به‌وسیله‌ی منافذ کوچک مملواز آب محاصره شده باشد، فعالیت سوخت‌وساز ریشه‌ی گیاهان و زیواچه‌های خاک به‌طور مشابه تحت تأثیر قرار خواهند گرفت.

بنابراین هوای خاک از هوای نیوار از چند جنبه متفاوت است. اول، ترکیب هوای خاک نقطه به نقطه در داخل خاک متفاوت است. در پاره‌ای از منافذ بعضی از گازها به‌وسیله‌ی ریشه‌ی گیاهان و واکنش‌های میکروبی مصرف شده‌اند و گازهای دیگر آزاد گردیده است بنابراین ترکیب هوای خاک را بسیار تغییر داده‌است. دوم، هوای خاک معمولاً دارای رطوبت بیشتری از نیوار می‌باشد، رطوبت نسبی هوای خاک حدود ۱۰۰ درصد است مگراینکه خاک خیلی خشک باشد. سوم، میزان گازکربنیک (CO_2) به‌مراتب بالاتر و میزان گاز اکسیژن (O_2) به‌مراتب کمتر از مقدار آن‌ها در نیوار می‌باشد. گازکربنیک موجود در هوای خاک چند صد برابر غلظت ۰/۰۳۵ درصد مقدار معمول آن در نیوار است. اکسیژن نیز نسبتاً کاهش یافته و در موارد حاد ممکن است به ۵ تا ۱۰ درصد و حتی به کمتر درمقایسه با حدود ۲۰ درصد مقدار معمول آن در نیوار برسد.

مقدار ترکیب هوای خاک تا حد زیادی به‌وسیله‌ی میزان محلول خاک تعیین می‌شود. هوا، منافذی را اشغال می‌کند که به‌وسیله‌ی آب پر نشده باشد. به‌دنبال یک بارندگی شدید و یا آبیاری وقتی خاک زه‌کشی می‌شود، اول منافذ درشت، و به‌دنبال آن منافذ متوسط، و نهایتاً منافذ ریز پس از آنکه آب آن‌ها به‌وسیله‌ی تبخیر و یا مصرف گیاهان خارج می‌شود از هوا مملو می‌شوند و این تهویه ضعیف خاک‌ها را با میزان نسبی منافذ ریز زیاد توضیح می‌دهد. دراین خاک‌ها آب غالب بوده و میزان هوای خاک، و همینطور نسبت انتشار هوای نیوار به‌داخل خاک و انتشار هوای خاک به‌داخل نیوار اندک می‌باشد. نتیجه‌ی نهایی مقادیر زیاد (CO_2) و مقادیر اندک (O_2) و شرایط غیرمطلوب برای رشد

اکثر گیاهان می‌باشد. در شرایط حاد، کمبود اکسیژن در هوای خاک و محلول آب ممکن است واکنش‌های شیمیایی در محلول خاک را به‌طور اساسی تغییر دهد. این امر دارای اهمیت خاص برای درک نقش خاک‌های مرطوب می‌باشد.

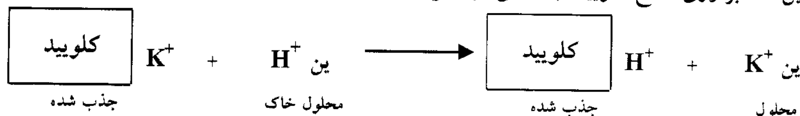
۱-۱۵ اثرات متقابل چهار جزء ترکیبی خاک برای فراهم عناصر غذایی

همان‌طورکه مطالب ارائه شده درمورد هریک از چهار عنصر ترکیبی خاک را مطالعه کردید، ممکن‌است توجه نموده‌باشید که اثرات هر یک از این عناصر بر خصوصیات خاک به‌ندرت مستقل از بقیه خصوصیات بیان شده باشد. هر چهارعنصر بر همدیگر اثرات متقابل داشته و سرشت یک خاک را مشخص می‌سازد. بنابراین رطوبت خاک که مستقیماً نیاز گیاهان را به آب فراهم می‌کند، به‌طور همزمان بیشتر هوای خاک و فراهم عناصرغذایی را برای ریشه‌ی گیاهان فراهم می‌کند. ذرات معدنی به‌خصوص ذرات ریز محلول خاک را جذب کرده و بنابراین حرکت و قابلیت استفاده آن را به‌وسیله‌ی گیاهان مشخص می‌سازد. به‌همین ترتیب ماده‌ی آلی به‌دلیل قدرت اتصال‌دادن فیزیکی در طرز قرار گرفتن ذرات معدنی در دسته‌های خاص مؤثربوده و مقدار منافذ درشت خاک را افزایش می‌دهد و بنابراین در روابط آب‌وهوا مؤثر می‌باشد.

قابلیت استفاده‌ی عناصر اصلی

شاید مهمترین اثرات متقابل فرایندهای موجود در چهار عنصر ترکیبی خاک عرضه‌ی عناصر غذایی اصلی برای نباتات باشد. نباتات عناصر غذایی اصلی را همراه آب از یکی از این چهار عنصر یعنی محلول خاک جذب می‌کند. مقدار عناصر اصلی در محلول خاک گر چه در هر زمان بسیار کمتر از مقدار مورد نیاز برای تولید یک محصول کامل است جبران عناصر غذایی محلول خاک باید مداوماً از بخشهای آلی و معدنی خاک و کودهای شیمیایی ویا کودهای دامی انجام گیرد.

خوشبختانه مقدار زیادی از این عناصر غذایی همراه مواد جامد معدنی و آلی خاک می‌باشند. عناصر غذایی به‌وسیله‌ی یک سری از واکنش‌های شیمیایی و زیست شیمیایی از اشکال جامد برای جبران آن‌ها در محلول خاک آزاد می‌شوند. برای مثال، طی تبادل یونی عناصر اصلی مانند کلسیم (Ca^{2+}) و پتاسیم (K^+) از سطح کلوییدی رس و هموس به‌داخل محلول خاک آزاد می‌شوند. تماس نزدیک بین ین‌های محلول خاک و ین‌های جذب‌شده درسطح کلویید این تبادل را امکان‌پذیر می‌سازد. در مثال زیر یک ین H^+ در محلول خاک نشان داده شده است که به آسانی با یک ین K^+ بر روی سطح کلویید مبادله می‌شود. ین K^+ محلول برای جذب به‌وسیله‌ی گیاهان قابل استفاده می‌باشد.



ین K^+ آزاد شده به اسانی به‌وسیله‌ی گیاهان جذب می‌شود[1]. بعضی از دانشمندان این تبادل ینی را یکی از مهمترین واکنش‌های شیمیایی در طبیعت می‌دانند.

ین‌های غذایی بر اثر تجزیه بافت‌های گیاهی به‌وسیله‌ی ریزجانداران خاک به‌داخل خاک آزاد می‌شوند. ریشه‌های گیاهان می‌توانند به آسانی تمام این عناصر غذایی را از محلول خاک جذب کند به‌شرط‌آنکه مقدارO_2 در هوای خاک برای انجام سوخت‌وساز ریشه کافی باشد.

بسیاری از خاک‌ها حاوی مقدار زیادی عناصر غذایی درارتباط با نیازهای سالانه‌ی پوشش گیاهی می‌باشند هرچند بخش عمده عناصر غذایی در شبکه ساختمانی کانی‌های اولیه و ثانویه و ماده‌ی آلی نگهداری می‌شود. فقط بخش اندکی از عناصر غذایی خاک در اشکال قابل‌استفاده برای گیاهان یافت می‌شوند. جدول ۳-۱ برآوردی از میزان عناصر غذایی موجود در اشکال مختلف در خاک شاخص مناطق مرطوب و خشک می‌باشد. شکل ۲۴-۱ تشریح می‌کند که چگونه دو جزء جامد خاک یا جزء مایع (محلول خاک) برای فراهم‌کردن عناصر ضروری نبات درتعامل می‌باشند. ریشه‌های گیاه ذرات خاک را ولو هرچه کوچک جذب نمی‌کنند، بلکه فقط قادر است عناصری را که در محلول خاک حل شده‌اند جذب کند.

ازآن‌جاکه عناصر در بخش درشت خاک فقط به کندی و در طول زمان در محلول خاک آزاد می‌شوند. مقدار کل در اکثر عناصر غذایی خاک به آسانی برای گیاه قابل استفاده نمی‌باشد. عناصر غذایی در بخش کلوییدی خاک به‌دلیل سطح مخصوص زیاد آن‌ها بسیار سریعتر تجزیه شده و بنابراین آسان‌تر برای گیاه قابل استفاده می‌باشند. بنابراین، واحدهای ساختمانی کانی‌ها مخزن اصلی، و تا حدی یک منبع مهم از عناصر غذایی در بسیاری از خاک‌ها می‌باشند.

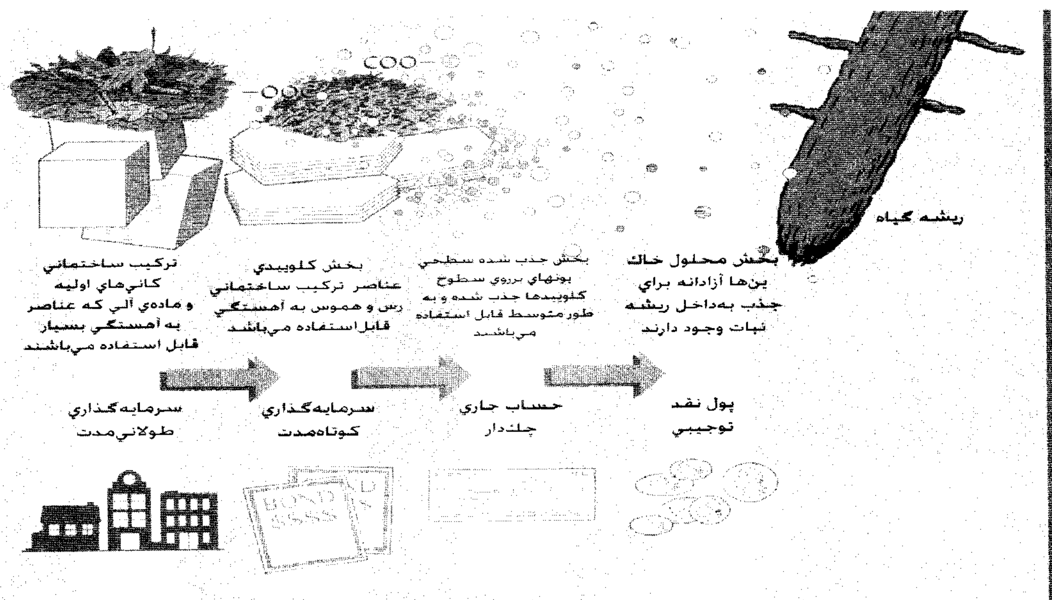
---

[1] - واژه Adsorption به جذب ین‌ها در سطوح ذرات اطلاق می‌شود و درحالی‌که Absorbtion فرایندی است که در طی آن ین‌ها بداخل ریشه نبات جذب می‌شوند. ین‌های جذب‌شده در سطح خاک با ین‌های محلول خاک قابل‌تبادل می‌باشند.

جدول ۳-۱ مقادیر ٦ عنصر اساسی که در خاک‌های شاهد در مناطق معتدل یافت می‌شود.

عناصر اصلی	خاک مناطق مرطوب			خاک مناطق خشک		
	بخش جامد kg/ha	قابل تبادل kg/h	محلول خاک kg/h	بخش جامد kg/h	قابل تبادل kg/h	محلول خاک kg/h
Ca	۸۰۰۰	۲۲۵۰	٦۰-۱۲۰	۲۰۰۰۰	۵٦۲۵	۱۴۰-۲۸۰
Mg	٦۰۰۰	۴۵۰	۱۰-۲۰	۱۴۰۰۰	۹۰۰	۲۵-۴۰
K	۳۸۰۰۰	۱۹۰	۱۰-۳۰	۴۵۰۰۰	۲۵۰	۱۵-۴۰
P	۹۰۰	--	۰/۰۵-۰/۱۵	۱٦۰۰	--	۰/۱-۰/۲
S	۷۰۰	--	۲-۱۰	۱۸۰۰	--	٦-۳۰
N	۳۵۰۰	--	۷-۲۵	۲۵۰۰	--	۵-۲۰

توزیع عناصر غذایی در اجزاء مختلف یک خاک حاصلخیز، همان‌طورکه در شکل ۲٤-۱ تشریح شده، ممکن است به سهام سرمایه گذاری یک فرد ثروتمند تشبیه گردد. در این تشابه عناصر دارای سهولت قابلیت استفاده برای گیاهان همانند پول نقد موجود در جیب شخص می‌باشد. یک میلیونر احتمالاً اکثر سرمایه خود را در سرمایه‌گذاری طولانی مدت در اموال غیرمنقول و یا قراردادها اختصاص داده است(بخش درشت جامد خاک)، درحالی‌که مقدار کمتری از سرمایه خود را برای خرید سهام کوتاه‌مدت باقی می‌گذارد. (بخش کلوییدی). برای استفاده‌های هرچه فوری‌تر مقدار کمی از سرمایه خود را به‌صورت چک مورد مصرف قرار می‌دهد(عناصر قابل تبادل) بخش بسیار اندکی از کل ثروت به‌صورت پول نقد مصرف می‌شود (عناصر غذایی در محلول خاک) به‌محض تمام‌شدن بخش نقدی جبران آن با کشیدن چک از حساب جاری عملی می‌شود. حساب جاری نیز گاه گاه به‌وسیله‌ی فروش از منابع سرمایه گذاری طویل المدت جبران می‌شود. برای یک فرد ثروتمند حتی با داشتن اموال غیرمنقول خیلی زیاد ممکن است سرمایه نقدی در بعضی مواقع نقصان یابد مشابه این مورد، گیاه ممکن است عناصر غذایی قابل استفاده آسان را درحالی‌که مقدار کل این عناصر در داخل خاک خیلی زیاد شده تماماً مورد استفاده قرار دهد. خوشبختانه در یک خاک حاصلخیز فرایندهای تشریح شده در شکل ۲٤-۱ می‌تواند عناصر غذایی محلول خاک را با برداشت عناصر غذایی اصلی به‌وسیله‌ی ریشه‌ی گیاه هرچه سریع‌تر جبران کند.

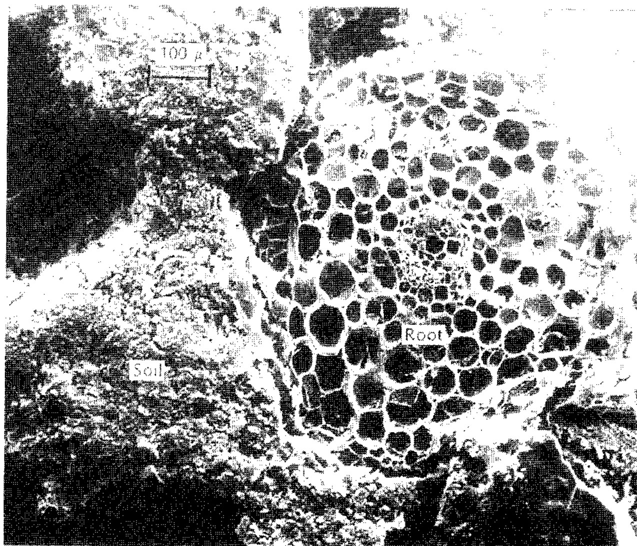


شکل ۲٤-۱ عناصر غذایی در شکل‌های مختلف با قابلیت استفاده‌های متفاوت برای ریشه نبات در داخل خاک وجود دارند. حجم زیادی از عناصر غذایی در ترکیب ساختمانی کانی‌های اولیه، ماده‌ی آلی، رس و هموس محبوس می‌باشند بخش کوچک‌تری از هر عنصر غذایی به‌طور مجتمع در نزدیک سطوح کلوییدی‌های خاک جذب سطحی شده‌اند از این گروه یون‌ها بخش کوچکی به‌داخل محلول خاک وارد شده و در آنجا به‌دنبال جذب یون‌های محلول به‌وسیله‌ی ریشه نبات جایگزین می‌گردند.

۱-۱٦ جذب عناصر غذایی به‌وسیله‌ی ریشه‌ی گیاهان

عنصر غذایی برای جذب به‌وسیله‌ی گیاه باید به‌صورت محلول بوده و درسطح ریشه قرار گرفته باشد. اغلب بخش‌هایی از ریشه گیاه چنان در ارتباط مستقیم با ذرات خاک می‌باشند (شکل ۲۵-۱ را مشاهده کنید) که امکان تبادل منظم بین عناصر غذایی جذب‌شده برروی سطح کلویید خاک و ین H^+ در سطح دیواره سلول‌های ریشه فراهم می‌شود. در هر حال مقدار عناصر غذایی در تماس با سطح ریشه به‌زودی به اتمام خواهد رسید، این حقیقت این پرسش را مطرح می‌کند که چگونه ریشه می‌تواند مقادیر دیگر ین را در خاکی که ین‌های سطح ریشه همگی به‌وسیله‌ی ریشه جذب شده باشند مجدداً از خاک برداشت کند سه سازوکار اساسی که به‌وسیله‌ی آن‌ها غلظت عناصر غذایی در سطح ریشه حفظ می‌شود وجود دارد (شکل ۲٦-۱).

نخست میان راه قرار گرفتن ریشه[1] هنگامی‌که ریشه‌ها مداوماً در داخل یک بخش جدید از خاک رشد می‌کنند می‌باشد. در اغلب موارد ین‌های غذایی باید فاصله‌ای چند را برای رسیدن به سطح ریشه طی کنند. این حرکت می‌تواند به‌وسیله‌ی جریان توده‌ای[2] عناصر حل‌شده همراه با آب به‌طرف ریشه گیاه هنگام جذب فعال آب به‌وسیله‌ی گیاه صورت پذیرد. در این نوع حرکت ین‌های عناصر تا حدی شبیه برگهای شناور جاری به‌طرف پایین جریان می‌باشند. از طرف دیگر گیاهان می‌توانند به جذب عناصر غذایی در شب‌ها که آب به‌وسیله‌ی ریشه گیاه به‌کندی به‌داخل نبات نیز کشیده نمی‌شود ادامه دهند. ین‌های غذایی مداوماً به‌وسیله‌ی انتشار[3] از مناطق دارای غلظت بیشتر به‌طرف مناطق تخلیه‌شده از عناصر غذایی با غلظت کمتر در اطراف سطح ریشه نبات در جریان می‌باشند.



شکل ۲۵-۱ یک ریزتصویر الکترونیکی منقطع از سطح مقطع ریشه‌ی بادام‌زمینی که به‌وسیله‌ی خاک در بر گرفته شده است به نزدیک‌بودن تماس توجه داشته باشید.

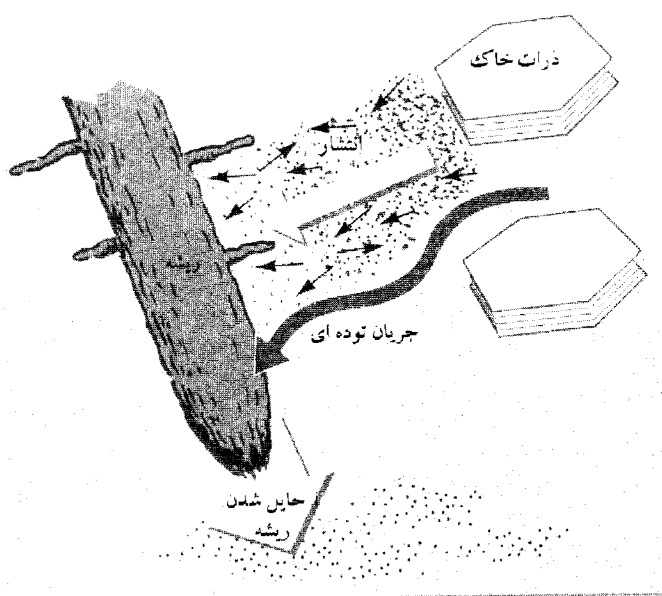
در فرایند انتشار حرکت تصادفی ین‌ها در تمام مسیرها سبب ایجاد خالص حرکت در مناطق دارای غلظت بیشتر به‌طرف مناطق با غلظت کمتر و مستقل از هر نوع حرکت توده‌ای آب که ین‌ها در داخل آن حل شده‌اند می‌باشد، عواملی مانند تراکم خاک، دمای پایین و میزان رطوبت اندک خاک که سبب کاهش رشد ریشه، جریان توده‌ای و یا انتشار می‌شود می‌تواند سبب جذب ناقص عناصر غذایی به‌وسیله‌ی نباتات حتی در خاک‌های دارای مقادیر قابل توجه عناصر غذایی محلول گردد. به‌علاوه قابلیت استفاده عناصر غذایی برای جذب می‌تواند به‌طور مثبت یا منفی تحت تأثیر ریزجانداران خاک که در نزدیکی ریشه زندگی می‌کند قرار گیرد. نگهداری میزان عناصر غذایی قابل استفاده در سطح ریشه نبات فرایندی است که در آن اثرات متقابل پیچیده‌ای در بین اجزاء مختلف خاک وجود دارد.

باید توجه داشت که غشاء سلول گیاهی که داخل ریشه گیاه را از محلول جدا می‌کند در مقابل ین‌های حل شده در شرایط خاص قابل نفوذ می‌باشد. گیاهان نمی‌توانند به آسانی ین‌های موجود در آبی که به‌وسیله‌ی ریشه از خاک برداشت می‌شود جذب کنند همین‌طور ین‌های حل شده را که به‌وسیله‌ی جریان توده‌ای و یا انتشار به سطح تماس آب و سطح ریشه آمده باشند نمی‌توانند

[1] - Root Interception
[2] - Mass Flow
[3] - Diffusion

از داخل غشاء سلولی به‌صورت غیرفعال عبور دهند. برعکس یک عنصر غذایی وقتی جذب می‌شود که یک مولکول حامل شیمیایی در غشاء سلول ریشه یک ترکیب پیچیده‌ی فعال را با عنصر ایجاد کرده و پس از عبور از غشاء سلولی آنرا به‌داخل سلول ریشه قبل از رهاسازی آن انتقال دهد. سازوکار حامل که به‌وسیله‌ی انرژی سوخت‌وساز ریشه فعال می‌شود اجازه می‌دهد که غلظت‌های عناصر غذایی در داخل سلول ریشه به‌مراتب از غلظت عناصر غذایی در محلول خاک بیشتر باشد. ازآن‌جاکه عناصر غذایی مختلف به‌وسیله مولکول‌های حامل خاص جذب می‌شوند گیاه می‌تواند تا حدی بر روی مقدار و مقدار نسبی عناصر غذایی جذب‌شده کنترل داشته باشد.

ازآن‌جاکه جذب عناصر غذایی یک فرایند فعال سوخت‌وساز است، شرایطی که سبب توقف سوخت‌وساز ریشه می‌شود ممکن است جذب عناصر غذایی را نیز متوقف کند. نمونه‌هایی از این شرایط شامل میزان آب بیش از حد و تراکم خاک است که منجر به تهویه‌ی ضعیف، دمای بسیاربالا یا پایین خاک شده و یا شرایط در روی سطح زمین است که سبب جابه‌جایی اندک قند به ریشه‌ی گیاهان می‌گردد. ما خواهیم دید که تغذیه گیاهی شامل فرایندهای زیستی، فیزیکی و شیمیایی، و اثرات متقابل بسیاری از اجزاء مختلف خاک و محیط می‌باشد.



شکل ۲۶-۱ سه سازوکار اصلی که به‌وسیله‌ی آن‌ها یون‌های غذایی حل شده در تماس با ریشه گیاهان قرار می‌گیرد. سه سازوکار ممکن است همگی همزمان با هم عمل کنند. اما یک سازوکار ممکن است برای یک عنصر خاص مهم باشد. برای نمونه در مورد کلسیم که در محلول خاک فراوان وجود دارد جریان توده‌ای ممکن است آن‌را به‌تنهایی به مقدار کافی به سطح ریشه گیاه برساند. اگر چه در مورد فسفر انتشار برای تکمیل جریان توده‌ای لازم می‌باشد، زیرا مقدار این عنصر در محلول خاک درمقایسه با مقدار موردنیاز نبات پایین است.

۱-۱۷ کیفیت[1] خاک، تخریب[2] و اصلاح[3]

خاک یک منبع پایه است که شالوده‌ی تأثیر تمام بوم‌سامان‌های زمینی می‌باشد. خاک‌ها، درصورت مدیریت محتاطانه می‌توانند، قرنها مورد استفاده قرار گیرند اما در مقیاس عمر بشری نمی‌توانند منبع تجدید شونده به حساب آیند. همانطوری که در فصل بعد خواهیم دید اکثر خاکرخ‌های خشک هزاران سال است که در حال تشکیل می‌باشند. در تمام مناطق جهان، فعالیت‌های بشر سبب تخریب خاک‌ها بسیار سریعتر از آنچه طبیعت می‌تواند دوباره ایجاد کند گردیده است. خاک‌های که بر اثر فرسایش کلاً ازبین‌رفته، مورد حفاری قرار گرفته و یا با توسعه مناطق شهری زیر آسفالت قرار گرفته‌است برای تمام مقاصد عملی از دست رفته می‌باشند اکثر اوقات خاک تماماً نابود نشده بلکه کیفیت آن دچار تخریب شده است.

کیفیت خاک : مقیاسی از توانایی خاک برای ایفای نقش‌های خاص بوم شناخت همانند آن‌چه که در فصل ۲-۱ تا ۶-۱ تشریح شد می‌باشد. کیفیت خاک بازتاب مجموعه‌ای از خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی می‌باشد. بعضی از این خصوصیات نسبتاً غیرقابل تغییر یا خصوصیات ذاتی می‌باشند که برای تشخیص یک خاک به‌خصوص به ما کمک می‌کنند. بافت خاک و ترکیب کانی‌ها (بخش ۱۱-۱) نمونه‌های از این خصوصیات می‌باشند. سایر خصوصیات خاک مانند ساختمان (بخش ۱۱-۱) و میزان ماده‌ی آلی (بخش ۱۲-۱) می‌توانند

---

1 - Soil Quality
2 - Degradation
3 - Resilience

به‌وسیله‌ی مدیریت به‌طور قابل ملاحظه‌ای تغییر یابند. این خصوصیات خاک که بیشتر قابل‌تغییر می‌باشند می‌توانند وضعیت کیفیت خاک را در ارتباط با انرژی آن مشخص کنند، همان‌طورکه گل آلودگی و میزان اکسیژن می‌تواند وضعیت کیفیت آب رودخانه را مشخص کند.

مدیریت بی‌رویه جنگل، مزارع و مراتع سبب تخریب کیفیت خاک به‌وسیله‌ی فرسایش می‌شود که اندک‌اندک خاک سطحی را از بین می‌برد (فصل ۱۷). دیگر علت گسترده‌ی تخریب خاک تجمع نمک در خاک‌های تحت آبیاری نامناسب در مناطق خشک است. وقتی مردم خاک‌ها را مورد کشت و کار قرار می‌دهند و محصول را بدون برگردان پس‌مانده‌های گیاهی و عناصر غذایی تماماً برداشت می‌کنند، مواد آلی و عناصر غذایی خاک تخلیه می‌شود (فصل ۱۲ را مشاهده کنید). این تخلیه به‌خصوص در اراضی نیمه صحرایی آفریقا که تخریب کیفیت اراضی در کاهش ظرفیت تولید مواد غذایی تجلی یافته است بسیار گسترده می‌باشد (فصل ۲۰ را مطالعه کنید). پلشتی خاک با مواد سمی حاصل از فرایندهای شیمیایی و یا پس مانده‌های شیمیایی می‌تواند ظرفیت خاک را در فراهم ماوا برای ریز جانوران، تولید گیاهان سالم از نظر خوردنی و یا تغذیه سالم آبهای سطحی و زیرزمینی تخریب کند. (فصل ۱۸ را مشاهده کنید). تخریب کیفیت خاک به‌وسیله‌ی آلودگی اغلب موضعی است، اما اثرات زیست محیطی و هزینه‌های موجود آن بسیار زیاد است.

درحالی‌که حفظ کیفیت خاک باید در اولویت نخست باشد، اغلب لازم است که برای اصلاح کیفیت خاک‌های قبلاً تخریب شده کوشش کنیم. بعضی خاک‌ها دارای ظرفیت کافی برای برگشت به‌حالت اول بعد از یک تخریب کم درصورت امکان تجدید پوشش بر روی آن‌ها می‌باشند. در سایر موارد تلاش بیشتری برای اصلاح خاک‌های تخریب‌شده باید بعمل آید. مواد اصلاح‌کننده آلی و معدنی ممکن است استعمال گردیده، پوشش بازکاری شده، تغییرات فیزیکی به‌وسیله‌ی خاکورزی و یا تسطیح انجام شده و مواد آلاینده ممکن است از محل برده شوند. با ارزیابی خسارت ایجاد شده قبلی به‌وسیله‌ی جوامع در سرتاسر جهان از منابع خاک‌های خود، حرفه‌ی اصلاح خاک به یک اشتغال جدی تبدیل خواهد شد.

۱-۱۸ نتیجه‌گیری نهایی

خاک همانند آب و هوا یک منبع طبیعی اصلی است. خاک سطح زمین از خاک‌های انفرادی بسیار متعددی تشکیل شده است که هریک جسم سه بعدی در زمین‌نما می‌باشند. هر خاک انفرادی به‌وسیله‌ی مجموعه‌ای از خصوصیات انحصاری و افق‌های خاک تشریح شده در خاکرخ آن مشخص می‌شود. سرشت لایه‌های خاک مشاهده شده در خاکرخ در ارتباط نزدیک با سرشت شرایط طبیعی منطقه می‌باشد.

خاک‌ها نقش عمده در بوم‌سامان ایفا می‌کنند: آن‌ها به‌عنوان محیط اصلی برای رشد نبات عمل می‌کنند، خاک‌ها میزان آب را تنظیم کرده، مواد خام و مواد زاید را در چرخه‌ی مجدد قرار می‌دهند. خاک‌ها به‌عنوان یک ماده‌ی مهم مهندسی برای سازه‌های انسان ساخت بکار می‌روند. خاک‌ها همچنین مأوای بسیاری از موجودات جاندار هستند. خاک بنابراین به نوبه‌ی خود یک بوم‌سامان عمده می‌باشد. خاک‌های جهان بسیار متنوع هستند. یک خاک خاص به‌وسیله‌ی مجموعه‌ای از افق‌های خاک مشخص می‌شود. یک خاک سطحی شاخص با شرایط فیزیکی مناسب برای رشد گیاه دارای نصف حجم مواد جامد (عمدتاً مواد معدنی اما با مقدار ماده‌ی آلی لازم) و نصف حجم منافذ خالی می‌باشد که به‌وسیله‌ی نسبت‌های مختلفی از آب و هوا پر شده است. این اجزاء بر روی همدیگر درتعامل بوده و هزاران نقش پیچیده را در خاک ایجاد می‌کنند که درک مناسب آن برای مدیریت عاقلانه منابع زمینی ما لازم می‌باشد.

سووالات بر مطالعه

۱- به‌عنوان یک جامعه آیا ارتباط ما با خاک‌ها به‌نظر می‌رسد در دهه‌های آینده افزایش یابد یا کاهش پیدا کند؟

۲- تشریح کنید که چگونه یک خاک یک جسم طبیعی با خاک ماده‌ای که برای ساختن یک بستر جاده فرق می‌کند.

۳- پنج نقش عمده خاک در بوم‌سامان کدامها می‌باشند. برای هر یک از این نقش‌های بوم شناخت راهی مطرح کنید که با نقش‌های دیگر ارتباط متقابل داشته باشد.

٤- به فعالیت خود در هفته‌ی گذشته فکر کنید. وقایعی را تا آنجا که می‌توانید نام ببرید که در آن به‌طور مستقیم و غیرمستقیم با خاک ارتباط داشته‌اید.

۵- شکل ۱۷-۱ ترکیب حجمی یک خاک لوم سطحی که در شرایط آرمانی برای رشد نبات می‌باشد نشان داده است، برای کمک به فهم شما از رابطه بین چهار اجزاء، این تابلو را با فرض این‌که خاک کاملاً به‌وسیله‌ی ترافیک سنگین متراکم شود دوباره ترسیم کنید. تابلو اصلی را دوباره با فرض ارتباط اجزاء بر حسب جرم (وزن) نه بر اساس حجم ترسیم کنید؟

۶- با کلمات خاص خود بیان کنید که چگونه عرضه‌ی عناصر خاک در اشکال مختلف شبیه به درآمدهای مـالی یـک شـخص از راههـای مختلف انجام می‌گیرد؟

۷- عناصر غذایی اصلی را که گیاهان عمدتاً از خاک به‌دست می‌آورید نام ببرید.

۸- آیا تمام عناصر موجود در گیاهان عناصر اصلی می‌باشند ؟ توضیح دهید ؟

۹- واژه‌های : بافت خاک، ساختمان خاک، pH خاک، هوموس، خاکرخ خاک، افق B، کیفیت خاک، سولوم و ساپرولیت را تعریف کنید؟

۱۰- چهار فرایند را شرح دهید که به‌طور معمول سبب تخریب کیفیت خاک می‌شود؟

و آن، شعر زندگی است نه یک ترانه حماسه‌ای آرام که
ضرباهنگ آن را قرن‌ها تجارب جهانی بنیاد نهاده است.
جمز مچنر

فصل دوم

تشکیل خاک‌ها از مواد مادری

نخستین فضانوردان کاشف ماه، در لباس‌های تحت فشار بدقواره برای جمع‌آوری نمونه‌هایی از سنگ و گرد سطح ماه کوششی فراوان کردند. این نمونه‌ها برای تجزیه به زمین آورده شدند. روشن گردید که سنگ‌های ماه دارای ترکیب مشابه با سنگ‌های موجود در عمق زمین می‌باشد، چنان شبیه که دانشمندان استنتاج کردند که ماه به‌صورت یک قطعه‌ی بزرگ مذاب میلیاردها سال قبل از زمین جداشده است، هنگامی که نوسیاره‌ی زمین در یک برخورد سرسام‌آور با جسمی در اندازه‌ی مریخ تقریباً به‌صورت مذاب درآمد و اقیانوس کبیر به‌عنوان اثرات آن برخورد، باقی ماند. در ماه سنگ یا تغییر نکرده باقی مانده و یا در اثر برخورد شهاب‌سنگ‌ها به‌صورت گردوغبار درآمده است. در زمین سنگ‌های سطحی در تماس با آب و هوا و موجودات زنده به یک جسم جدید یا انواع خاک‌های زنده تبدیل‌شده است. این فصل داستان چگونگی تبدیل سنگ‌ها و خاک سنگ‌ها را به پوسته‌ی شورانگیز بیرونی زمین بازگو می‌کند.

ما فرایندهای تشکیل خاک را از رگولیت نسبتاً یکنواخت و لایه‌های رنگارنگ خاکرخ مطالعه می‌کنیم. همچنین درباره‌ی عوامل محیطی مؤثر در این فرایند یاد خواهیم گرفت که چگونه آن‌ها سبب تشکیل خاک‌های بسیار متفاوت در کشور بلژیک درمقایسه با کشور برزیل می‌شود، و خاک‌های تکامل‌یافته از آهک چنان با خاک‌های تشکیل‌شده از ماسه‌سنگ تفاوت داشته، و خاک‌های کف دره‌ها با خاک‌های تپه‌ها مغایرت آشکار دارند.

هر زمین‌نما از مجموعه‌ای از خاک‌های متفاوت تشکیل‌شده است که هریک در فرایندهای بوم‌شناخت به روش خود مؤثر است. آیا این‌که قصد داریم زمین‌نما را تغییر دهیم، از آن استفاده کنیم، آنرا حفظ کرده و یا صرفاً مطالعه و درک کنیم، موفقیت ما به‌طور کلی وابسته به میزان دانش ما درباره‌ی چگونگی ارتباط خاکرخ با محیط هر منطقه و زمین‌نما می‌باشد.

۲-۱ هوادیدگی سنگ‌ها و کانی‌ها

تأثیر هوادیدگی، به‌خصوص تخریب فیزیکی و شیمیایی ذرات در هرجا آشکار است و هیچ شیبی نمی‌تواند از دست آن خلاصی یابد. هوادیدگی سبب تخریب سنگ‌ها و کانی‌ها گردیده خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها را ویران ساخته و یا تغییر داده و سبب جداسازی محصولات محلول و همچنین بازساخت کانی‌های جدید پراهمیت می‌شود. نرخ هر یک از این دو فرایند (تخریب و بازساخت) به‌وسیله‌ی سرشت سنگ‌ها و کانی‌های تحت تأثیر مشخص می‌شود (شکل ۲-۱).

خصوصیات سنگ‌ها و کانی‌ها

سنگ‌ها در سطح خارجی زمین معمولاً به سنگ‌های آذرین، رسوبی و دگرگونی تقسیم می‌شوند. سنگ‌ها با منشاء آذرین از مواد مذاب تشکیل‌شده و شامل سنگ‌های معمولی، مانند گرانیت و دیوریت می‌باشند (شکل ۲-۲).

سنگ‌های آذرین از کانی‌های اولیه[1] دارای رنگ روشن، مانند کوارتز، مسکویت، فلدسپار، و کانی‌های تیره‌رنگ مانند بیوتیت، اگیت و هورنبلند تشکیل‌شده‌اند. به‌طورکلی، گابرو و بازالت که تیره‌رنگ بوده و از کانی‌های با سهولت هوادیدگی حاوی آهن و منیزیم تشکیل شده‌اند، آسان‌تر از گرانیت، و دیگر سنگ‌های دارای رنگ روشن تخریب می‌شوند. بلورهای کانی در سنگ‌های آذرین به‌طور تصادفی توزیع‌یافته، درهم ادغام شده، و یک ظاهر نمک فلفلی را درصورت درشت‌بودن دانه‌های بلور که با چشم غیرمسلح قابل‌مشاهده است ارایه می‌دهند (شکل ۲-۳ چپ).

سنگ‌های رسوبی جدید از تراکم و سیمانی‌شدن مجدد محصولات حاصل از هوادیدگی دیگر سنگ‌های کهن ایجاد شده‌اند. برای مثال شن کوارتزی حاصل از هوادیدگی گرانیت که در ساحل یک دریای ماقبل تاریخ قرار دارد ممکن‌است درطی تغییرات زمین‌شناسی سیمانی

1- Primary Minerals

گردیده و تشکیل یک توده‌ی سخت به اسم ماسه‌سنگ[1] دهد. به‌همین ترتیب رس‌های دوباره سیمانی‌شده پلمه‌سنگ[2] نامیده می‌شوند. سایر سنگ‌های مهم رسوبی همراه با کانی‌های غالب آن‌ها در جدول ۱-۲ آمده‌اند.





شکل ۱-۲ دو سنگ قبر نوشته که در یک روز در یک قبرستان عکسبرداری‌شده است. اثر نوع سنگ را بر میزان هوادیدگی نشان می‌دهد. تاریخ و وقایع حفاری‌شده در سنگ‌لوح[3] در سال ۱۷۹۸ هنوز آشکار و روشن است درحالی‌که تاریخ و سال که در سال ۱۸۷۵ در مرمر کنده شده‌است به‌طورکلی هوادیده و شناخته نمی‌شود. سنگ لوح دارای کانی‌های مقاوم رس سیلیکاتی است درحالی‌که مرمر عمدتاً شامل کلسیت است که بسیار آسان‌تر به‌وسیله‌ی اسید موجود در آب باران مورد تهاجم قرار می‌گیرد.

کانی‌های دارای رنگ تیره مانند هورنبلند، اگیت، بیوتیت		کانی‌های دارای رنگ روشن مانند فلدسپار، مسکویت، کوارتز		بافت سنگ
پریدوتیت، هورنبلند	گابرو	دیوریت	گرانیت	درشت
	بازالت	اندزیت	ریولیت	متوسط
	شیشه‌ی بازالت	ابسیدین / فلسیت		ریز

شکل ۲-۲ طبقه‌بندی بعضی از سنگ‌های آذرین در رابطه با ترکیب کانی‌شناسی و اندازه ذرات کانی در سنگ (بافت سنگ) در سرتاسر دنیا کانی‌های دارای رنگ روشن و کوارتز از کانی‌های دارای رنگ تیره فراوان‌تر می‌باشند.

---
1 -Sandstone
2 -Shale
3 -Slate



شکل ۳-۲ کانی‌های اولیه به‌طور تصادفی در سنگ‌های آذرین درهم ادغام شده‌اند همانند سنگ سینیت در سمت چپ عکس. دما و فشار بالا ممکن‌است سبب ذوب مجدد سنگ و جداشدن کانی‌های سبک از کانی‌های سنگین‌تر شود. بنابراین ایجاد نوارهایی سیاه و سفید کرده که مختص سنگ نیس[1] یک سنگ دگرگونی می‌باشد (عکس سمت راست) دراین حالت کانی اولیه هر دو سنگ مشابه بوده کانی با رنگ روشن عمدتاً ارتوکلاز و کانی تیره هورنبلند است.

جدول ۱-۲ بعضی از سنگ‌های مهم رسوبی و دگرگونی و کانی‌های که معمولاً در آن‌ها یافت می‌شود.

کانی‌های غالب	سنگ رسوبی	سنگ دگرگونی
کلسیت $CaCO_3$	سنگ آهک	مرمر
دولومیت $CaCO_3MgCO_3$	دولومیت	مرمر
کوارتز	ماسه سنگ	کوارتزیت
رس‌ها	پلمه‌سنگ	سنگ‌لوح
متفاوت	جوش‌سنگ(الف)	نیس (ب)
متفاوت	--	شیست (ب)

الف ـ سنگ‌های کوچک با ساختار کانی‌شناسی متفاوت به‌صورت جوش‌سنگ سیمانی شده‌اند.
ب ـ کانی‌های موجود به‌وسیله‌ی سنگ اصلی مشخص می‌شوند که در دگرگونی تغییریافته است، کانی‌های اولیه در سنگ‌های آذرین معمولاً در این سنگ‌ها غالب می‌باشند، گرچه بعضی از کانی‌های ثانویه نیز وجود دارند.

ازآن‌جاکه اکثر مناطقی که در حال به‌صورت اراضی خشک می‌باشند، زمانی در گذشته از آب پوشیده شده‌بودند. سنگ‌های رسوبی معمول‌ترین سنگ‌هایی است که در این مناطق با آن‌ها مواجه می‌شویم. این سنگ‌ها ۷۵ درصد سطح زمین را پوشانده‌اند. مقاومت یک سنگ رسوبی به هوادیدگی به‌وسیله‌ی کانی‌های خاص غالب آن و عامل سیمانی‌شدن مشخص می‌شود.

سنگ‌های دگرگونی سنگ‌هایی هستند که بر اثر دگرگونی و یا تغییرشکل در سنگ ایجاد شده‌اند. توده‌های سنگ‌های آذرین و رسوبی برای تبدیل‌شدن به سنگ‌های دگرگونی باید تحت فشار و دمای بالا قرار گیرند

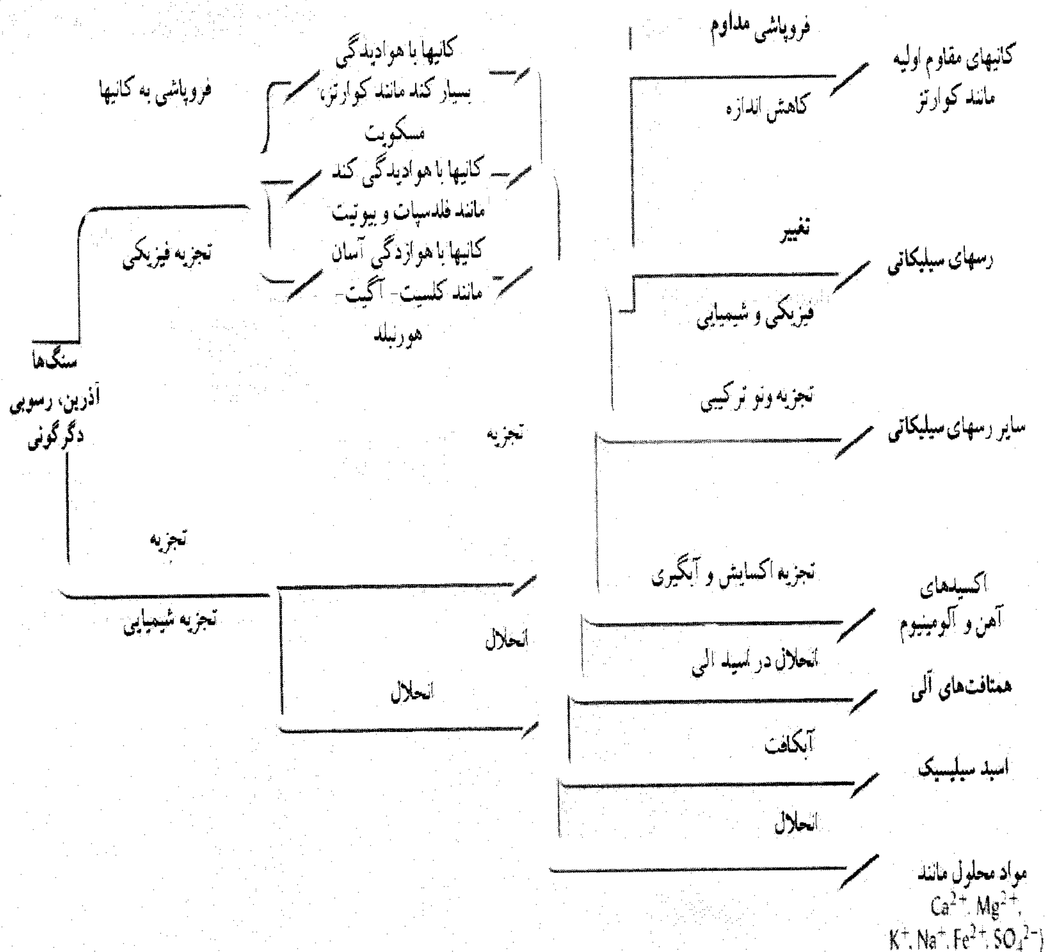
با حرکت و برخورد صفحات قاره‌ای برروی هم نیروهایی ایجاد می‌شود که می‌تواند سبب بالاآمدن رشته کوه‌های مرتفع گردد. درنتیجه، توده‌های آذرین و رسوبی تحت تأثیر گرما و فشار عظیم قرارگرفته و سبب تراکم، جابه‌جایی و یا ذوب نسبی سنگ‌های اولیه می‌شود. سنگ‌های آذرین معمولاً ممکن‌است به نیس و شیست تبدیل شوند که در آن کانی‌های سفید و روشن در نوارهایی قرار می‌گیرند (شکل۳-۲راست) سنگ‌ها با منشاء رسوبی مانند ماسه و پلمه‌سنگ ممکن‌است به کوارتزیت و سنگ‌لوح تبدیل شوند. بعضی از سنگ‌های دگرگونی معمولی در جدول ۱-۲ نشان داده‌شده است. همانند سنگ‌های آذرین و رسوبی، کانی و یا کانی‌های خاص که در یک سنگ

[1] -Geniess

دگرگونی مورد نظر غالب می‌باشند در مقاومت آن به هوادیدگی مؤثر می‌باشند (جدول ۲-۲ و شکل۱-۲ را مشاهده کنید) دگرگونی شدید نیز ممکن‌است از نظر فیزیکی سبب تضعیف توده سنگ و تسریع تخریب آن به قطعات کوچک‌تر شود.

هوادیدگی یک حالت عمومی

هوادیدگی ترکیبی از فرایندهای تخریب و بازسازی مجدد (شکل ٤-۲) می‌باشد در شکل، هوادیدگی با حرکت از چپ به راست سنگ‌ها و کانی‌های اولیه بر اثر خردشدن فیزیکی و یا تجزیه‌ی شیمیایی مشخص می‌شود. خردشدن فیزیکی بدون تغییر قابل‌ملاحظه در ترکیب سنگ آنرا به قطعات کوچک‌تر و نهایتاً به ذرات شن و لای که معمولاً از کانی‌های انفرادی تشکیل‌شده‌اند تبدیل می‌کند. همزمان با تخریب فیزیکی، کانی‌ها به‌طور شیمیایی تجزیه‌شده و سبب آزادشدن مواد محلول و بازسازی کانی‌های جدید می‌شود که بعضی از آن‌ها محصولات مقاوم نهایی می‌باشند. در طول تجزیه شیمیایی اندازه‌ی ذرات مرتباً کاهش‌یافته و مواد متشکله به حل‌شدن در محلول هوادیدگی مایع ادامه می‌دهند. مواد حل‌شده ممکن‌است با زهاب خارج‌شده و یا طی نوترکیبی به کانی‌های جدید(کانی‌های ثانویه) تبدیل شوند.



شکل ٤-۲ مسیرهای هوادیدگی که در اثر شرایط اسیدی متوسط در مناطق معتدل مرطوب صورت می‌گیرد. خردشدن سنگ‌ها به کانی‌ها یک فرایند فیزیکی است درصورتی‌که تجزیه، نوترکیبی و انحلال فرایندهای شیمیایی می‌باشند. تغییر کانی‌ها شامل هر دو فرایند فیزیکی و شیمیایی می‌باشد توجه داشته باشید کانی‌های مقاوم اولیه، کانی‌های جدید ثانویه که با وقوع هوادیدگی بازسازی می‌شوند و مواد محلول محصولات هوادیدگی می‌باشند در مناطق خشک فرایند فیزیکی غالب بوده اما در مناطق مرطوب حاره‌ای تجزیه و نوترکیبی غالب می‌باشد.به اهمیت آب در این ٦ نوع هوادیدگی شیمیایی که در سطور بعد تشریح خواهد شد توجه کنید.

سه گروه کانی که درخاک باقی می‌مانند درقسمت راست شکل۴-۲نشان داده‌شده‌اند که عبارتنداز:۱-رس‌های سیلیکاتی۲-محصولات نهایی خیلی‌مقاوم مانند رس‌های اکسیدآهن وآلومینیوم۳-کانی‌های اولیه خیلی‌مقاوم مانندکوارتز. درخاک‌های بسیارهوادیده‌ی مناطق مرطوب حاره‌ای، اکسیدهای آهن وآلومینیوم ورس‌های سیلیکاتی خاص،به نسبتSi/Al کم غالب می‌باشند زیرا اکثر اجزاء تجزیه‌شده وحذف گردیده‌اند.

دو فرایند اساسی خردشدن فیزیکی[1] و تجزیه شیمیایی[2] در تغییرات مشخص‌شده در شکل۴-۲ حاضر می‌باشند. هردو فرایند مؤثر بوده و از چپ به راست در نمودار هوادیدگی حرکت می‌کنند. خردشدن سبب کوچک‌شدن اندازه سنگ‌ها و کانی‌ها بدون تغییر قابل توجه در ترکیب آن‌ها می‌شود. گرچه در طی تجزیه تغییرات شیمیایی مشخصی صورت می‌گیرد، مواد محلول آزادشده و کانی‌های جدید بازسازی می‌شوند که بعضی از آن‌ها محصولات نهایی مقاوم را ایجاد می‌کنند.

جدول ۲-۲ کانی‌های بسیار مهم اولیه و ثانویه در خاک‌ها که بر حسب درجه‌ی مقاومت به هوادیدگی در تحت شرایط معمول در مناطق معتدل مرطوب دسته‌بندی شده‌اند (کانی‌های اولیه همچنین در سنگ‌های آذرین و دگرگونی به مقدار زیاد یافت می‌شوند کانی‌های ثانویه معمولاً در سنگ‌های رسوبی یافت می‌شوند).

کانی‌های اولیه		کانی‌های ثانویه		
کوارتز	SiO_2	گوتیت	$FeOOH$	بیشترین مقاومت ↑
مسکویت	$KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$	هماتیت	Fe_2O_3	
میکروکلین	$KAlSi_3O_8$			
ارتوکلاز	$KAlSi_3O_8$	جیبسیت	$Al_2O_3.3H_2O$	
بیوتیت	$KAl(MgFe)_3Si_3O_{10}(OH)_2$	کانی‌های رس	سیلیکاتهای آلومینیوم	
آلبیت	$NaAlSi_3O_8$			
هورنبلند	$Ca_2Al_2Mg_2Fe_3S_{16}O_{22}(OH)_2$ (الف)			
اگیت	$Ca_2(Al,Fe)_4(Mg,Fe)_4Si_6O_{24}$			
انورتایت	$CaAl_2Si_2O_8$			
اولیوین	$(Mg,Fe)_2SiO_4$			
		دولومیت(ب)	$CaCO_3.MgCO_3$	
		کلسیت	$CaCO_3$	
		گچ	$CaSO_4.\ 2H_2O$	↓ کمترین مقاومت

الف ـ فرمول ارایه‌شده تقریبی است زیرا ترکیب کانی بسیار متغیراست.
ب ـ در چمن‌زارهای مناطق نیمه‌خشک دولومیت و کلسیت از آنچه مشخص‌شده است به‌دلیل میزان هوادیدگی کربناتی‌شدن مقاومتر به هوادیدگی می‌باشند.

۲-۲ هوادیدگی فیزیکی (خردشدن)

دما : در طول روز سنگ‌ها گرم شده و در شب‌ها بسیار پایین‌تر از دمای هوا سرد می‌گردند. گرم‌شدن سبب می‌شود که بعضی از کانی‌های سنگ بیشتر از دیگر کانی‌ها منبسط شود به‌همین ترتیب بعضی از کانی‌های سنگ طی سردشدن بیشتر از دیگر کانی‌ها منقبض می‌شوند. با تغییر هر دما تنش‌های متفاوت ایجاد می‌شود که نهایتاً سبب ایجاد ترک و سبب شکسته‌شدن مکانیکی سنگ می‌شود، به‌خاطر ضریب پایین هدایت گرمایی سطح خارجی سنگ اغلب گرمتر و یا سردتر از بخش داخلی می‌باشد. این گرم‌وسردشدن متفاوت سبب ایجاد تنش جانبی می‌شود که درطی زمان ممکن‌است سبب گردد که لایه‌های سطحی از توده سنگ اصلی پوسته پوسته شوند. این فرایند فرسایش پوست

[1] - Physical Disintegration
[2] - Chemical Decmposition

پیازی[1] نامیده می‌شود که دربعضی مواقع با فرایند یخ زدن همراه بوده ویا تسریع می‌یابد(شکل۵-۲ پایین). نیروی ایجادشده به‌وسیله‌ی آب یخ زده معادل ۱٤٦٥ تن متر یک در متر مربع (Mgm^{-2}) و یا ۱۵۰ تن در فوت مربع است فشاری که سبب عریض‌ترشدن ترکها در تخته سنگ‌های بزرگ و جداسازی ذرات کانی از قطعات کوچک‌تر سنگ می‌گردد (شکل۶-۲ پایین).

سایش به‌وسیله‌ی آب، یخ و باد : آب حاصل از باران پس از برخورد به زمین سفر خود را به‌طرف اقیانوس آغاز می‌کند و مداوماً سبب جابه‌جایی، جداسازی و کار مجدد بر روی ته‌نشست‌هایی می‌شوند که خود حمل می‌کند. هنگامی که آب دارای بار رسوب باشد دارای قدرت فوق‌العاده‌ای برای برش می‌باشد (شکل۶-۲ بالا). و این به‌صورت بریدگی‌ها و خندقها و دره‌ها در سرتاسر جهان مشاهده می‌شود. گردکردن سنگ‌های بستر رودخانه‌ها و ذرات شن ساحل شاهد دیگری برای نیروی سایندگی آب در حال حرکت می‌باشد.

شن و ماسه بادرفته نیز می‌توانند سبب فرسایش سنگ‌ها در اثر عمل سایندگی باد گردند. سنگ‌های گرد بادرفته بسیاری شاهد این عمل سایندگی باد در نقاط خاصی از مناطق خشک می‌باشد. در مناطق یخچالی، توده‌های عظیم در حال حرکت یخ که در داخل آن‌ها قطعات سنگ و خاک جای گرفته است سبب آسیاب‌کردن سنگ‌ها درمسیر خود گردیده و حجم بزرگی از مواد را باخود حمل می‌کند(شکل۱۰-۲).

گیاهان و جانوران : ریشه‌ی گیاهان با ورود به درون ترک‌های سنگ اهرم‌دار آن‌ها را جدا ساخته و سبب خردشدن آن‌ها می‌گردد. حیوانات حفار نیز می‌توانند تا حدی سبب تخریب سنگ شوند. این تأثیرات در مقایسه با اثرات بسیار شدید فیزیکی آب، یخ، باد و تغییرات دما درتولید مواد مادری خاک از اهمیت کمتری برخورداراند.

۳-۲ هوادیدگی شیمیایی (تجزیه)

درحالی‌که هوادیدگی فیزیکی در مناطق خشک سرد تشدید می‌شود، هوادیدگی شیمیایی در مناطقی که اقلیم گرم ومرطوب است بسیار شدید می‌باشد، گرچه هر دو فرایند با هم صورت گرفته و تمایل دارند یکدیگر را تشدید کنند.

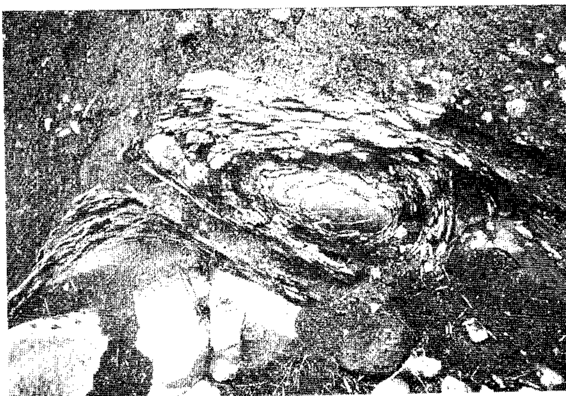
هوادیدگی شیمیایی در حضور آب (با مواد حل‌شدنی متنوع در آن)، اکسیژن، اسیدهای آلی و معدنی که حاصل فعالیت زیست شیمی است ارتقاء می‌یابد. این عوامل هماهنگ برای تبدیل کانی‌های اولیه(مانند فلدسپات و میکا) به کانی‌های ثانویه (رس‌های سیلیکاتی) و آزادشدن عناصر غذایی در محلول) (شکل ۷-۲) عمل می‌کنند.

آبگیری[2] : مولکول‌های آب ممکن‌است در فرایندی بنام آبگیری در پیوند با یک کانی قرار گیرند



هماتیت   آب   فری هیدریت

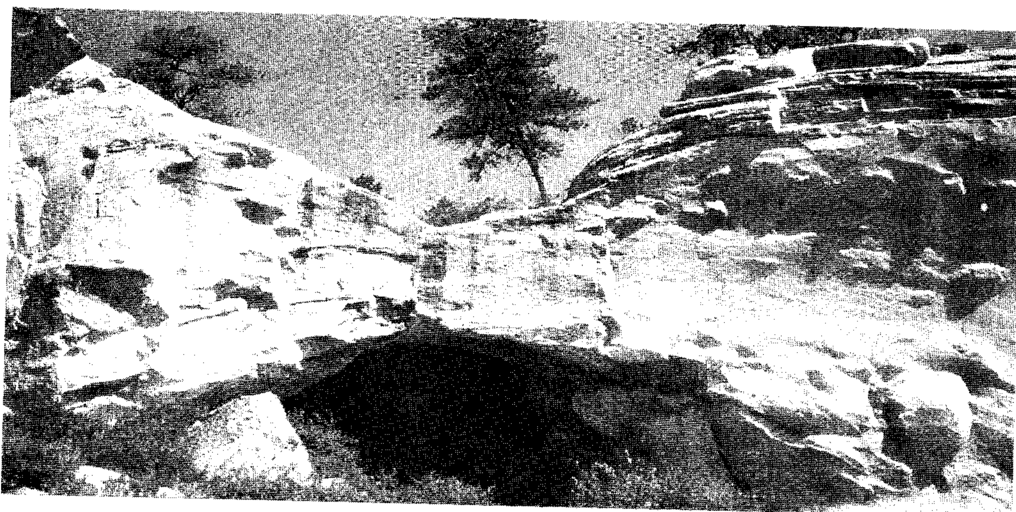
$$5Fe_2O_3 + 9H_2O \longrightarrow Fe_{10}O_{15}.9H_2O$$





شکل ۵-۲ تشریح هوادیدگی سنگ‌ها در دو شکل (سمت چپ) تشریح هوادیدگی متمرکز بنام پوسته پوسته‌شدن که ترکیبی از هوادیدگی فیزیکی و شیمیایی بوده و تخریب فیزیکی را تشدید می‌کند و لایه‌های تشکیل می‌دهد که بسیار شبیه برگ‌های کلم می‌باشد.(سمت راست) نوارهای متمرکز از رنگ‌های روشن تیره که بیانگر هوادیدگی شیمیایی می‌باشد (اکسایش و آبگیری) که از خارج به‌داخل سنگ صورت می‌گیرد و تولید ترکیبات آهنی می‌کند که از نظر رنگ متفاوت می‌باشند.

[1] - Exfoliation
[2] - Hydration

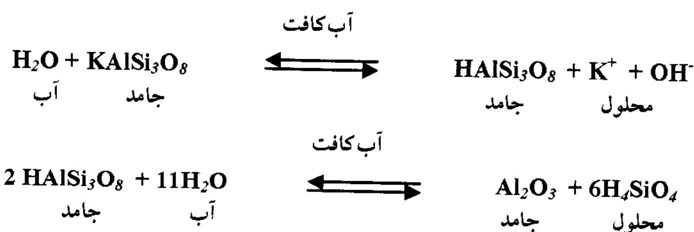




شکل ۶-۲ اثر آب در هوادیدگی و تخریب سنگ (عکس بالایی) شکل V شکل که به‌وسیله‌ی آب در این پرتگاه، ماسه سنگ در ایالت مونتانا حفر شده است بیانگر توان برشی آب حاوی رسوب می‌باشد. غار در پایین V به‌وسیله‌ی گردابه‌هایی زیر آبشار قدیمی ایجادشده است(عکس پایین) انبساط آب پس از یخ زدن، سنگ رسوبی اپالاچی را به قطعات کوچک‌تر خرد کرده است

اکسیدهای آبدار آهن و آلومینیوم مانند $(Al_2O_3,3H_2O)$ بیانگر نمونه‌های حاصل از واکنش آبگیری است.

آب‌کافت(هیدرولیز)[1]: در واکنش آب‌کافت مولکول‌های آب به اجزای تشکیل‌دهنده‌ی آن هیدروژن و هیدروکسیل تفکیک می‌گردند. هیدروژن اغلب سبب جایگزینی یک کاتیون از ساختمان کانی می‌شود. مثال ساده اثر آب برروی میکروکلین یک فلدسپات حاوی پتاسیم می‌باشد.

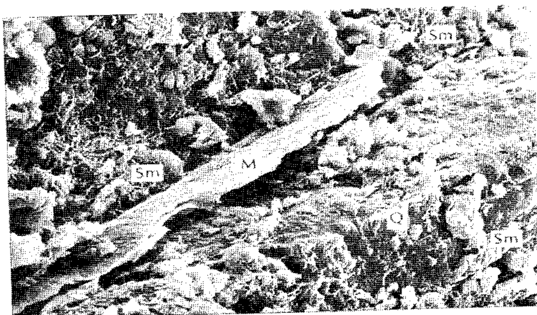


$$\underset{\text{آب}}{H_2O} + \underset{\text{جامد}}{KAlSi_3O_8} \xrightleftharpoons{\text{آب‌کافت}} \underset{\text{جامد}}{HAlSi_3O_8} + \underset{\text{محلول}}{K^+ + OH^-}$$

$$\underset{\text{جامد}}{2\,HAlSi_3O_8} + \underset{\text{آب}}{11H_2O} \xrightleftharpoons{\text{آب‌کافت}} \underset{\text{جامد}}{Al_2O_3} + \underset{\text{محلول}}{6H_4SiO_4}$$

پتاسیم آزادشده در محلول در معرض جذب کلوییدهای خاک، جذب به‌وسیله‌ی نبات و یا هدررفت در آب زه‌کشی قرارمی‌گیرد. همین‌طور اسیدسیلیسیک(H_4SiO_4) محلول است و می‌تواند به آزادی به‌وسیله‌ی آب زه‌کشی خارج‌شده و یا می‌تواند با سایر ترکیبات مانند رس‌های سیلیکاتی برای تشکیل کانی‌های ثانویه در نوترکیب قرار گیرد.

[1] - Hydrolysis

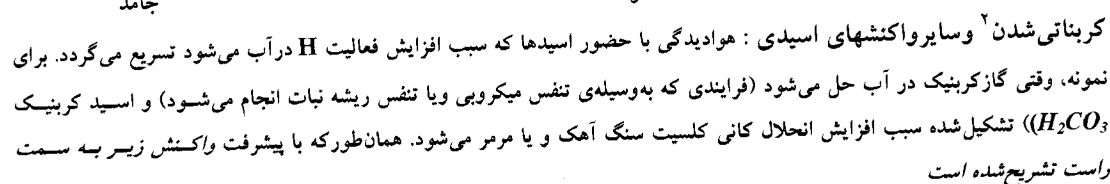


شکل ۷-۲ ریز عکس الکترونیکی منقطع که تشکیل رس‌های سیلیکاتی را از هوادیدگی سنگ گرانیت در کالیفرنیای جنوبی تشریح می‌کند (چپ) یک فلدسپار پتاسیم (K-Spar) نشان داده‌شده است که به‌وسیله‌ی رس‌های سیلیکاتی اسمکتیت (Sm) و ورمی‌کولیت (Vm) محاصره‌شده است (راست) میکا (M) و کوارتز (Q) با اسمکتیت(Sm) همراه می‌باشند.

انحلال[1] : آب قادر است که بسیاری از کانی‌ها را با آبگیری کاتیون‌ها و آنیونها در خود حل کند به‌طوریکه آن‌ها از همدیگر جداشده و به‌وسیله‌ی مولکول‌های آب احاطه می‌شوند. حل‌شدن گچ در آب نمونه‌ای از این فرایند است.

$$CaSO_4 \cdot 2H_2O + 2H_2O \xrightleftharpoons{\text{انحلال}} Ca^{2+} + SO_4^{2-} + 4H_2O$$

جامد — محلول

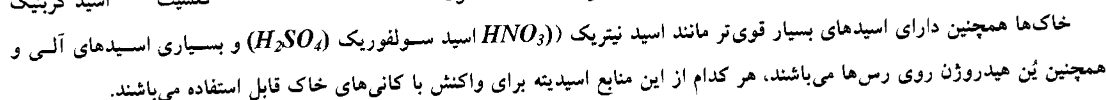


کربناتی‌شدن[2] **وسایرواکنشهای اسیدی** : هوادیدگی با حضور اسیدها که سبب افزایش فعالیت H درآب می‌شود تسریع می‌گردد. برای نمونه، وقتی گازکربنیک در آب حل می‌شود (فرایندی که به‌وسیله‌ی تنفس میکروبی ویا تنفس ریشه نبات انجام می‌شود) و اسید کربنیک (H_2CO_3) تشکیل‌شده سبب افزایش انحلال کانی کلسیت سنگ آهک و یا مرمر می‌شود. همان‌طورکه با پیشرفت *واکنش زیر به سمت راست تشریح‌شده است*

$$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3$$

$$H_2CO_3 + CaCO_3 \xrightleftharpoons{\text{کربناتی‌شدن}} Ca^{2+} + 2HCO_3^-$$

اسید کربنیک — کلسیت — محلول — محلول



خاک‌ها همچنین دارای اسیدهای بسیار قوی‌تر مانند اسید نیتریک (HNO_3) اسید سولفوریک (H_2SO_4) و بسیاری اسیدهای آلی و همچنین یُن هیدروژن روی رس‌ها می‌باشند، هر کدام از این منابع اسیدیته برای واکنش با کانی‌های خاک قابل استفاده می‌باشند.

اکسایش و کاهش[3] : کانی‌های که دارای آهن، منگنز و یا گوگرد می‌باشند به واکنش اکسایش و احیاء حساسیتی ویژه دارند. آهن در کانی‌های اولیه به صورت دو ظرفیتی FeII (فرو) موجود است. وقتی سنگ‌های حاوی این کانی‌ها درطی فرایند خاک‌سازی در معرض هوا قرار می‌گیرند به آسانی اکسیده‌شده (الکترون از دست می‌دهند) و به سه ظرفیتی FeIII (فریک) تبدیل می‌شوند. اگر آهن FeII به FeIII تبدیل شود تغییر در ظرفیت و شعاع یونی سبب بی ثبات‌شدن ساختمان کانی می‌شود.

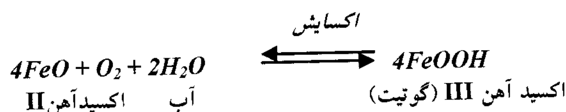
در سایر موارد، FeII ممکن‌است از کانی آزادشده و تقریباً همزمان به FeIII اکسیده شود.

برای مثال آبگیری اولیوین سبب آزادشدن اکسید فرو می‌شود که ممکن‌است بلافاصله به اکسی هیدراکسید فریک (گوتیت) تبدیل شود.

$$3MgFeSiO_4 + 2H_2O \xrightleftharpoons{\text{آب کافت}} H_4Mg_3Si_2O_9 + 2SiO_2 + 3FeO$$

اولوین(جامد) — آب — سرپانتین(جامد) — محلول — اکسید آهن II (جامد)

$$4FeO + O_2 + 2H_2O \xrightleftharpoons{\text{اکسایش}} 4FeOOH$$

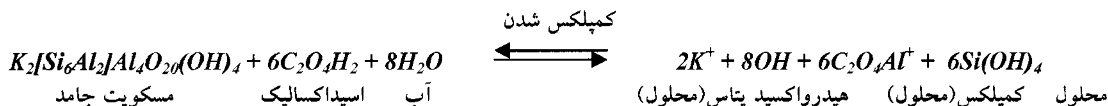


اکسیدآهن II — آب — اکسید آهن III (گوتیت)

[1] - Dissolution
[2] - Carbonation
[3] - OxidationReduction

اکسایش و یا حذف آهن در طول هوادیدگی اغلب به‌وسیله‌ی تغییر در رنگ کانی‌های تغییریافته (شکل ۵-۲ راست) مشخص می‌شود.

همتافت[1] : فرایندهای زیستی سبب تولید اسیدهای آلی مانند اسیداکسالیک، سیتریک و تارتاریک و همچنین اسیدهومیک و اسید فولیک با مولکول‌های بسیاربزرگ‌تر می‌شود(بخش ٤-١٢ را مطالعه کنید) که علاوه بر ارایه‌ی یُن H^+ که سبب حل‌شدن آلومینیوم و سیلیس می‌شود، ترکیبات آلی پیچیده‌ای (کیلات) با آلومینیوم درداخل ساختمان کانی‌های سلیکاتی ایجاد می‌کنند. این کار سبب برداشت Al^{3+} از کانی‌شده و کانی درمعرض تخریب بیشتر قرار می‌گیرد. در مثال زیر اسیداکسالیک یک کمپلکس محلول با آلومینیوم حاصل از کانی مسکویت ایجاد می‌کند. پیشرفت این واکنش به‌سمت راست سبب تخریب ساختمان مسکویت و آزادشدن یُن‌های غذایی نبات یعنی پتاسیم می‌شود.



$$K_2[Si_6Al_2]Al_4O_{20}(OH)_4 + 6C_2O_4H_2 + 8H_2O \xrightleftharpoons{\text{کمپلکس شدن}} 2K^+ + 8OH + 6C_2O_4Al^+ + 6Si(OH)_4$$

مسکویت جامد   اسیداکسالیک   آب   هیدرواکسید پتاس(محلول)   کمپلکس(محلول)   محلول

درنبود موجودات زنده در روی کره‌ی زمین فرایند تخریب شیمیایی که هم اکنون بیان کردیم احتمالاً ۱۰۰۰ برابر آهسته‌تر به پیش می‌رفت که حاصل آن نرخ اندک تشکیل خاک و یا عدم تشکیل خاک در روی کره‌ی زمین می‌بود.

فرایندهای جامع هوادیدگی : فرایندهای مختلف هوادیدگی شیمیایی همزمان صورت گرفته و وابسته به همدیگر می‌باشند. برای نمونه آب‌کافت یک کانی اولیه ممکن‌است سبب آزادشدن آهن فرو FeII گردد که به سرعت به آهن فریک FeIII تبدیل‌شده که آن نیز به نوبه خود آبگیری کرده و به هیدرواکسید آهن تبدیل شود. آب‌کافت و یا همتافت نیز ممکن‌است سبب آزادشدن کاتیون‌های محلول و اسید سیلیسیک و ترکیبات آهن و آلومینیوم گردد. در محیط‌های مرطوب به‌نظر می‌رسد بعضی از کاتیون‌های محلول و اسیدسیلیسیک از توده‌ی هوازده به‌وسیله‌ی آب زه‌کشی خارج شوند. مواد آزادشده ممکن‌است در ترکیب مجدد برای تشکیل رس‌های سیلیکاتی و سایر کانی‌های ثانویه قرار گیرند. بدین منوال، فرایندهای زیست شیمیایی هوادیدگی سبب تغییرشکل مواد زمین شناختی اولیه به ترکیباتی می‌شود که از آن‌ها خاک ایجاد می‌شود.

٤-٢ عوامل مؤثر تشکیل خاک[2]

در فصل اول آموختیم که خاک مجموعه‌ای از خاک‌های انفرادی هریک با خصوصیات خاکرخی متمایز است. این مفهوم خاک به‌عنوان یک جسم طبیعی سازمان‌یافته حاصل مطالعات گروه برجسته‌ی دانشمندان خاک‌شناس روس به رهبری دکوچایف[3] می‌باشد. آن‌ها به لایه‌بندی مشابه خاکرخ در خاک‌هایی که دارای صدها مایل فاصله، اما دارای اقلیم و پوشش گیاهی یکسان بودند، پی بردند. چنین مشاهدات و تحقیقات بسیار دقیق صحرایی و آزمایشگاهی بعدی منجر به تشخیص ۵ عامل بود که تشکیل خاک‌ها را سامان می‌بخشند. این ۵ عامل عبارتند از :

۱- مواد مادری (مواد زمین‌شناختی و مواد آلی اولیه خاک).

۲- اقلیم (عمدتاً دما و بارندگی).

۳- موجودات زنده (پوشش گیاهی بومی، میکروبها، جانوران خاک‌زی و انسان).

٤- پستی‌وبلندی (شیب، جهت و موقعیت زمین‌نما).

۵- زمان (مدتی که مواد مادری تحت اثر عوامل تشکیل خاک قرار گرفته است).

خاکها اغلب با واژه‌های از این عوامل چون "کالبدهای طبیعی" با ویژگی‌های ناشی از اثرات مشترک فعالیت‌های اقلیمی و زیستی دگرگون‌شده با پستی‌وبلندی که درطی زمان برروی مواد مادری عمل می‌کنند. تعریف شده‌اند. حال چگونگی تأثیر هرکدام از این ۵ عامل را در تشکیل محصول نهایی خاک مورد آزمون قرار می‌دهیم. به‌هرصورت ما باید در خاطر داشته باشیم که این عوامل اثر خود را جداگانه اعمال نمی‌کنند در واقع، وابستگی آن‌ها به همدیگر قاعده‌ی اصلی است. برای نمونه بنظر می‌رسد رژیم‌های اقلیمی متفاوت با پوشش‌های گیاهی گوناگون و پستی‌وبلندی و مواد مادری متفاوت همراه باشند با این وصف در موارد خاص یکی از عوامل دارای تأثیر فراگیر در تعیین

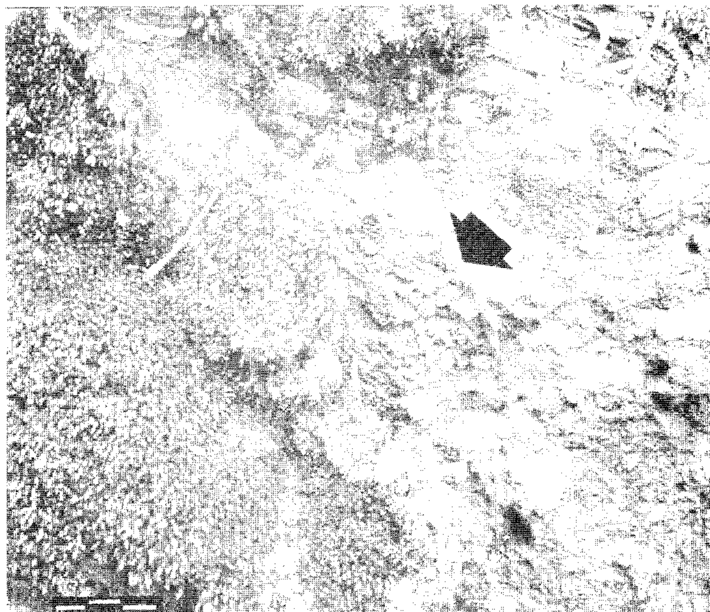
---

[1] - Complexation

[2] - بسیاری از مفاهیم نوین در مورد عوامل تشکیل خاک از کارهای برجسته Hans Jenny دانشمند خاک شناس آمریکایی (آلمانی‌الاصل) حاصل شده که کتابهای او در سال ۱۹٤۱ و سال ۱۹۸۰ چاپ شده و به‌عنوان کارهای نمونه در این زمینه به حساب می‌آیند.

[3] - V.V.Dukochaev

تفاوت در بین مجموعه خاک‌ها می‌باشد. دانشمندان خاک‌شناسی به این مجموعه خاک‌ها لیتوسکانس[1]، کلیموسکانس[2]، بیوسکانس[3] توپوسکانس[4] و کرونوسکانس[5] (به ترتیب یعنی توالی سنگی، اقلیمی، زیستی، پستی‌وبلندی و زمانی) گفته می‌شود.



شکل ۸-۲ مراحل اولیه‌ی تکامل خاک. هوادیدگی زیست شیمیایی یک تخته سنگ، تحت تأثیر گلسنگ و خزه در یک اقلیم مرطوب. این گیاهان بیشتر تولید اسیدهای آلی می‌کنند که باعث تجزیه کانی‌ها در سنگ‌ها در اثر واکنش‌های آب‌کافت و کمپلکس‌کردن می‌باشند به سطح برداشت‌شده سنگ (پیکان) که در آن لایه خزه برای آشکارشدن بخش هوادیده زیر آن کنار زده‌شده است توجه کنید. مواد کانی سست حاصل و عناصر غذایی محلول همراه گردوغبار به دام افتاده و باقی‌مانده‌ی آلی خزه و گلسنگ نهایتاً بستری برای رشد گیاهان عالی ایجاد کرده که آن‌ها نیز به نوبه خود تشکیل خاک را بیشتر تسریع می‌کنند. مقیاس در عکس برحسب سانتی‌متر است.

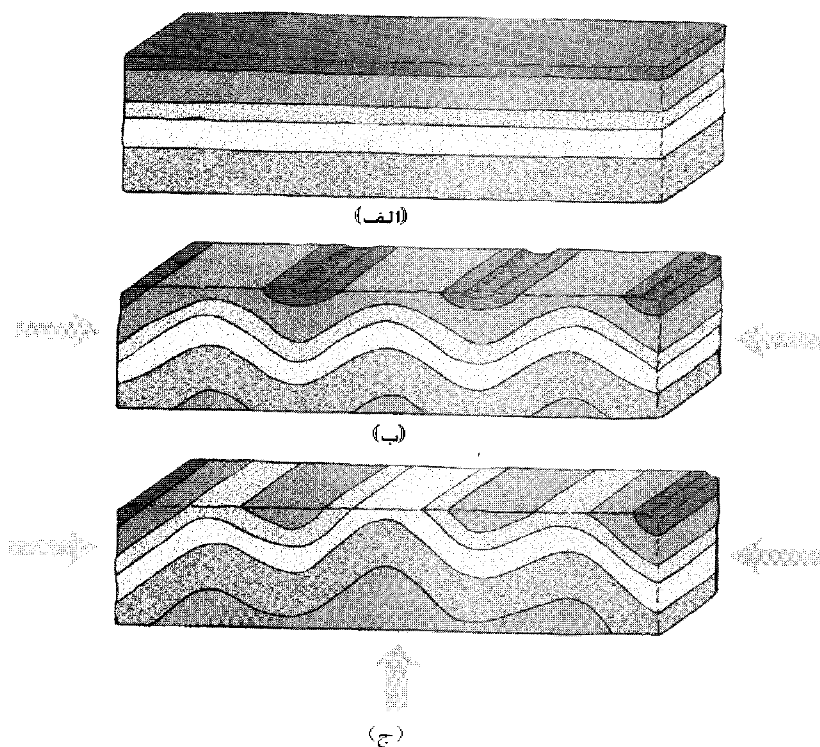
۵-۲ مواد مادری

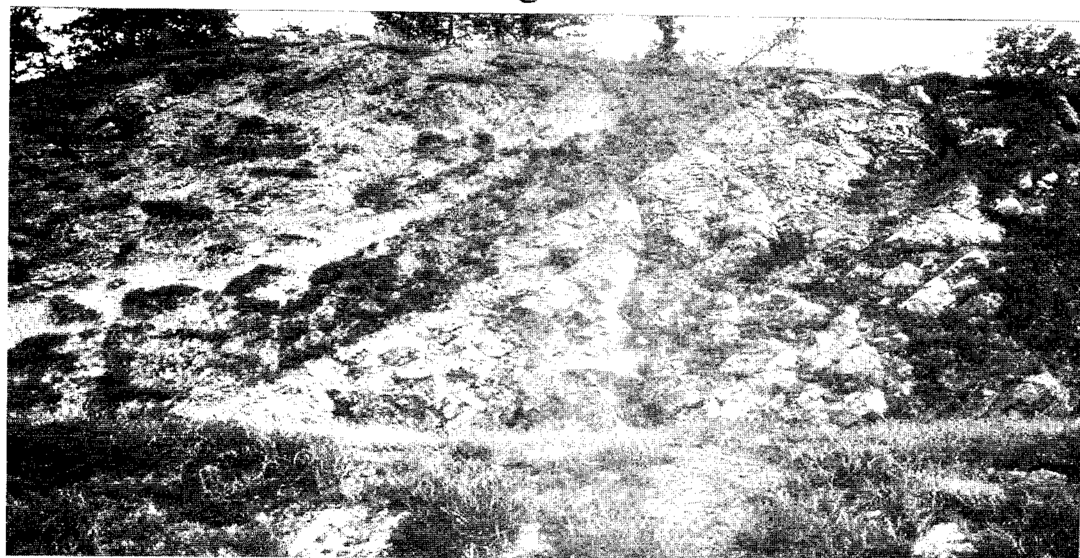
فرایندهای زمین‌شناسی مواد مادری متعددی را به سطح زمین آورده است که از آن خاک‌ها تشکیل می‌شوند (شکل ۹-۲). سرشت مواد مادری به‌طور بارز در خصوصیات خاک مؤثر است. برای مثال، یک خاک ممکن‌است بافت شنی (بخش ۲-٤) را از یک مواد مادری دانه درشت غنی از کوارتز مانند گرانیت و ماسه سنگ، به ارث برده باشد. بافت خاک حرکت آب را به طبقات پایین خاک و درنتیجه جابه‌جایی ذرات ریز خاک و عناصر غذایی موردنیاز گیاه را سامان می‌بخشد. ترکیب کانی‌شناسی و شیمیایی مواد مادری می‌تواند به‌طور مستقیم در هوادیدگی مؤثر بوده و همزمان در پوشش طبیعی نیز مؤثر است. برای مثال حضور سنگ آهک در مواد مادری توسعه‌ی اسیدیته را به تأخیر می‌اندازد. فرایندی که در اقالیم مرطوب رخ می‌دهد، به‌علاوه، برگ‌های درختان در حال رشد بر روی سنگ آهک از نظر میزان کلسیم و سایر کاتیون‌های فلزی تشکیل دهنده باز غنی هستند، با مخلوط‌شدن این برگ‌های حاوی کاتیون‌های بازی زیاد و تجزیه آنان فرایند اسیدی‌شدن را به تأخیر انداخته و در مناطق معتدل مرطوب پیشرفت در توسعه خاک را بیشتر به تأخیر می‌اندازد.

مواد مادری در مقدار و نوع کانی رسی موجود در خاکرخ نیز مؤثر می‌باشند. اوّل، مواد مادری خود ممکن‌است مقادیر و انواع متفاوتی از کانی‌های رسی را در چرخه‌ی قبلی هوادیدگی در برداشته باشد. دوّم، سرشت ماده‌ی مادری تأثیر خیلی زیادی بر روی انواع رس‌های تشکیل‌شده در هنگام تکوین خاک دارد (بخش ٦-۸) و در مقابل سرشت کانی‌های رسی موجود به‌طور مشخص بر روی انواع خاک‌های تکامل‌یافته مؤثر است.

---

1 - Lithosequence
2 - Climosequence
3 - Biosequence
4 - Toposequence
5 -Chronosequence





(د)

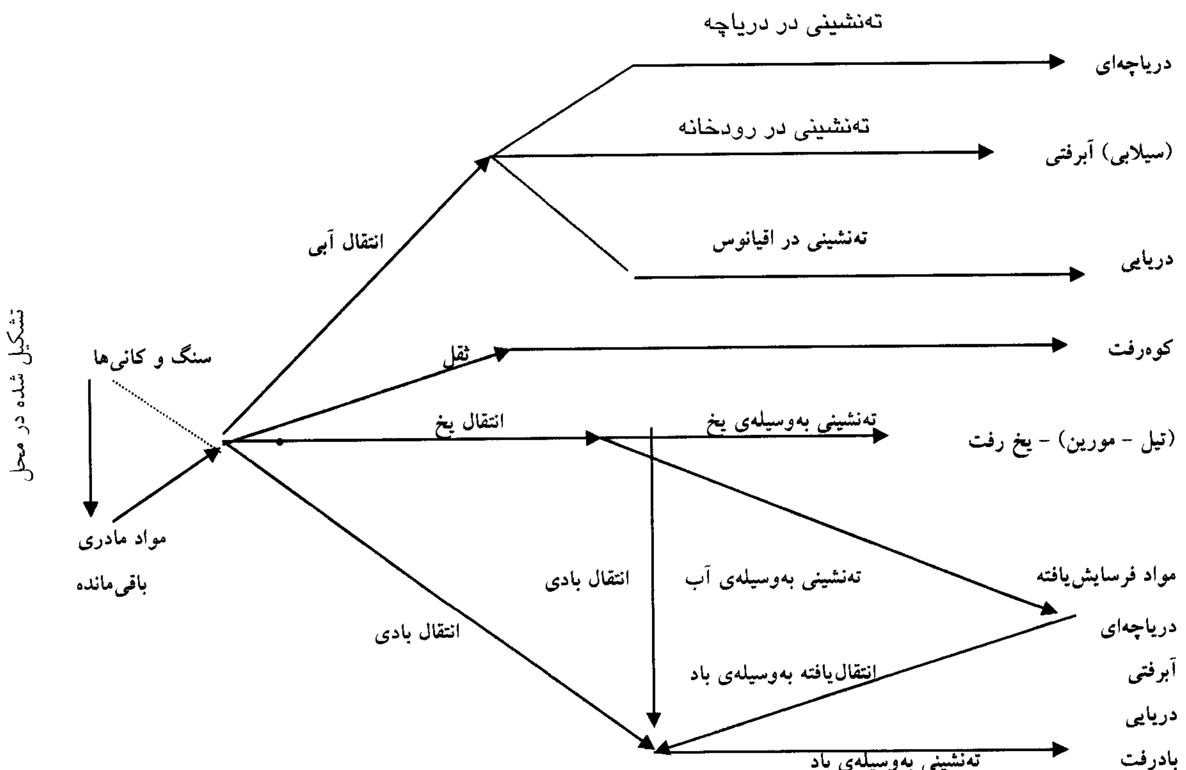
شکل ۹-۲ نمودارها نشان‌دهنده‌ی چگونگی بالا آمدن لایه‌های سنگ به سطح زمین در یک منطقه به‌خصوص به‌وسیله‌ی فرایندهای زمین‌شناسی. (الف) لایه‌های تغییرنیافته‌ی سنگ رسوبی که فقط لایه فوقانی آن آشکارشده است (ب) فشارهای جانبی زمین‌شناسی لایه‌های سنگ را در طی خمش پوسته‌ای[1] تغییر می‌دهند. در همان مدت فرسایش قسمت اعظم لایه سطحی را از بین می‌برد و اولین لایه‌ی زیرین را آشکار می‌سازد. (ج) فشارهای رو به بالای محلی لایه‌ها را بیشتر تغییر داده و بنابراین دو لایه زیرین دیگر را آشکار می‌سازند. هوادیدگی این چهار لایه آشکارشده سبب ایجاد ماده‌ی مادری می‌گردد که برروی آن‌ها می‌توانند خاک‌های مختلف ایجاد شوند. (د) خمش پوسته‌ای که سبب بالا آمدن کوه‌های اپالاچی‌شده است، این سنگ‌های رسوبی را که زمانی افقی ته‌نشین شده‌بودند به حالت مورب درآورده است. این بریدگی بزرگ کنار جاده در ویرجینیا تغییرات ناگهانی در مواد مادری خاک (لیتوسکانس) را وقتی کسی در سطح زمین در بالای عکس راه می‌رود تشریح می‌کند.

[1] -Crustal Warping

طبقه‌بندی مواد مادری

مواد مادری معدنی می‌توانند یا در محل اصلی تشکیل شوند (درجا)[1] مانند مواد هوادیده باقی‌مانده، و یا می‌توانند به‌وسیله‌ی انتقال از یک محل و ته‌نشینی در محل دیگر ایجاد گردند (شکل ۱۰-۲). در محیط‌های مرطوب (مانند باتلاق‌ها و مرداب‌ها) تجزیه‌ی ناقص ممکن‌است سبب تجمع مواد مادری آلی حاصل از پس‌مانده‌های گیاهی نسل‌های بسیاری از پوشش گیاهی گردد. اگرچه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مواد مادری عمدتاً در تشکیل خاک مؤثر است اما اغلب در ارتباط با موقعیت آن‌ها در محل فعلی طبقه‌بندی می‌شوند.

۱ـ مواد مادری که در جا از سنگ تشکیل‌شده است	مواد باقی‌مانده [2] (Residual)
۲ـ مواد مادری انتقال‌یافته	
الف ـ به‌وسیله‌ی ثقل	کوه‌رفت [3] (Colluvial)
ب ـ به‌وسیله‌ی آب	
رودخانه	آبرفتی (Alluvial)
اقیانوس	دریایی (Marine)
دریاچه	دریاچه‌ای (Lacustrine)
ج ـ به‌وسیله‌ی یخ	یخرفتی (Glacial)
دـ به‌وسیله‌ی باد	بادرفتی (Eolian)
۳ ـ تجمع پس‌مانده‌های گیاهی	آلی



شکل ۱۰-۲ چگونه انواع مختلف مواد مادری تشکیل، انتقال و ته‌نشست می‌شوند.

---

[1] - Sedentary
[2] - Residual
[3] - Colluvial

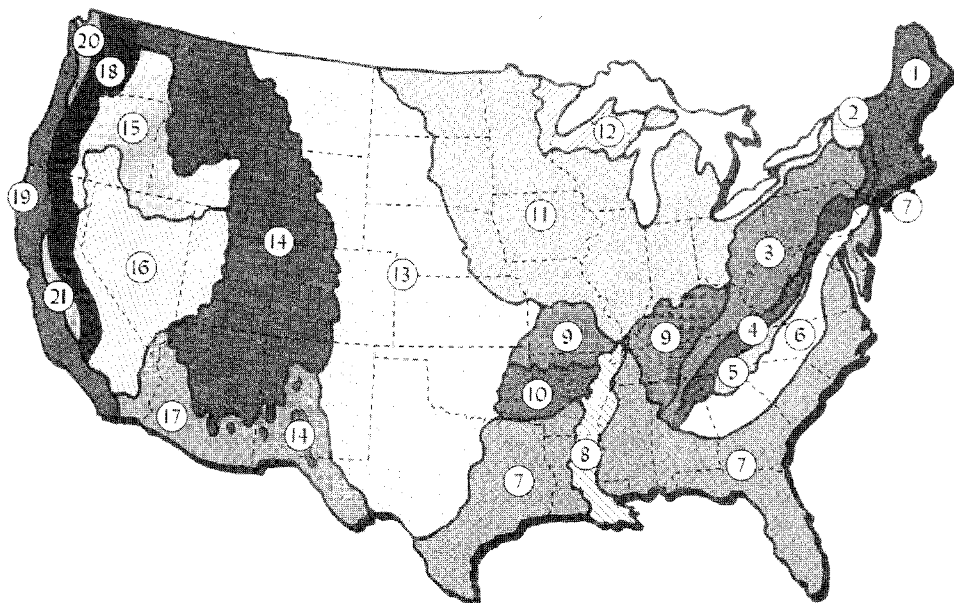
گرچه این واژه‌ها تنها به محل قرارگیری ماده‌ی مادری مربوط است، مردم گاهی این واژه‌ها را برای - های که از این تـه‌نشسـت‌ها تشکیل شده‌اند به‌کار می‌برند. برای مثال خاک‌های آلی، خاک‌های یخچالی، خاک‌های آبرفتـی و غیـره. ایـن واژه‌هـا کـاملاً غیراختصاصـی می‌باشند زیرا خصوصیات مواد مادری در داخل هر گروه بسیار متفاوت است، به‌علاوه اثر مواد مادری به‌وسیله‌ی اثرات اقلـیم، موجـودات زنده، پستی‌وبلندی و زمان قابل‌تغییر است.

٦-٢ مواد مادری در جا

این مواد مادری در محل اصلی از سنگ‌های زیرین تکامل می‌یابند. زمین‌نماهای پایدار ممکن‌است هوادیدگی طـولانی و شـدیدی را از سر گذرانده باشند. در مناطقی که اقلیم گرم و مرطوب است مواد مادری در جا به‌گونه‌ای شاخص به‌طور کلی شسته‌شده و اکسیده گردیده و رنگهای زرد و قرمز از ترکیبات مختلف آهن را به نمایش می‌گذارند (تابلو۹، ۱۱ و ۱۵ را مشاهده کنید). در مناطق خنک‌تر و بـه‌خصـوص خشک‌تر، رنگ و ترکیب شیمیایی مواد مادری در جا بیشتر شبیه به سنگی است که مواد مادری از آن تشکیل‌شده است.

مواد مادری در تمام قاره‌ها به‌طور گسترده‌ای توزیع یافته‌اند. نقشه فیزیوگرافیک کشور آمریکا (شـکل ۱۱-۲) ۹ اسـتان بـزرگ را نشـان می‌دهد که در آن‌ها مواد مادری در جا غالب می‌باشند. (در راهنمای نقشه به‌صورت حروف کج آمده است).

انواع مختلف خاک‌ها مناطقی را که به‌وسیله‌ی ماده مادری در جا پوشیده‌شده است تسخیر کرده‌اند، زیرا اخـتلاف قابـل ملاحظـه‌ای در سرشت سنگ‌هایی که این مواد مادری از آن‌ها تشکیل‌شده‌اند وجود دارد. خاک‌های متنوع همچنین منعکس‌کننده اختلافات زیاد در بین سایر عوامل مؤثر در تشکیل خاک مانند اقلیم و پوشش گیاهی می‌باشد (بخش ۱۳-۲ و ١٤-۲).



شکل ۱۱-۲ نقشه‌ی عمومی فیزیوگرافی و نقشه رگولیت ایالات متحده مناطق بشرح زیر می‌باشند (اکثر مناطق با مواد مادری در جا با حروف درشت نشان داده‌شده‌اند

۱- نیوانگلند[1]: عمدتاً شامل سنگ‌های دگرگونی یخچالی

۲- ادیروندا‌کس[2] : شامل سنگ‌های رسوبی و دگرگونی یخچالی

۳-کوه‌های اپالاچی و فلاتها: شامل پلمه‌سنگ‌ها وماسه سنگ‌ها

٤- دره‌ها و برجستگیهای سنگ آهک: عمدتاً سنگ‌آهک

۵- رشته کوه‌های آبی[3]: شامل ماسه سنگ و پلمه‌سنگ

٦- دشت دامنه‌ای فلات[4] : شامل سنگ‌های دگرگونی

۷- دشتهای ساحلی اتلانتیک و خلیج: شامل سنگ‌های رسـوبی بـا شـن

۸- دشت طغیانی می‌سی‌سی‌پی و مصب‌های مربوطه: شامل آبرفت

---

[1] - New England
[2] - Adirondacks
[3] - Blue Ridge Mountain
[4] - Piedmont Plateau

رس و آهک

۹- مناطق مرتفع سنگ آهک: عمدتاً شامل سنگ آهک و پلمه‌سنگ

۱۰- مناطق مرتفع ماسه سنگ: عمدتاً شامل ماسه سنگ و پلمه‌سنگ

۱۱- اراضی پست مرکزی: عمدتاً شامل سنگ‌های رسوبی با یخچالی و لس دارای اهمیت زیاد در کشاورزی(شکل۱۷-۲).

۱۲- مناطق مرتفع بالایی: شامل سنگ‌های رسوبی و دگرگونی یخچالی

۱۳-مناطق دشت‌های بزرگ[1]: شامل سنگ‌های رسوبی

۱٤- منطقه کوه‌های راکی: شامل سنگ‌های رسوبی، دگرگونی و آذرین

۱۵- مناطق بین کوهستانها در شمال غرب: عمدتاً شامل سنگ‌های آذرین، لس در حوزه رودخانه‌های کلمبیا و مار[2] (شکل۲۱-۲).

۱٦- حوزه‌های بزرگ: شامل سنگریزه، شن، با زیربناهای آبرفتی حاصل از سنگ‌های مختلف رسوبی و آذرین

۱۷- منطقه‌ی خشک جنوب غربی: شامل سنگریزه، شن و دیگر ته‌نشست‌های دشتی و کوهستانی

۱۸- کوه‌های کاسکاد[3] و سیرانوادا: شامل سنگ‌های آذرین بیرونی

۱۹- استانهای ساحل اقیانوس کبیر: عمدتاً شامل سنگ‌های رسوبی

۲۰- اراضی پست جت ساند[4]: عمدتاً شامل سنگ‌های رسوبی و یخچالی

۲۱- دره‌ی مرکزی کالیفرنیا: عمدتاً شامل آبرفت و مواد فرسایش‌یافته

۲-۷ مواد کوهرفت

مواردکوهرفت یا کلویم عبارتنداز قطعات نامتجانس سنگ که از ارتفاعات بالا جداشده وعمدتا به‌وسیله‌ی ثقل و دربعضی موارد با یاری یخبندان به شیب پایین انتقال‌یافته است. شیب‌های دارای قطعات سنگی (تالوس)وتخته‌سنگ‌های پرتگاه‌ها و موارد نامتجانس مشابه نمونه‌های خوبی از موارد کوهرفت هستند. بهمن‌ها عمدتا از تراکم این مواد ایجاد می‌شوند.

مواد مادری کوهرفت معمولا دانه درشت و سنگدار می‌باشند زیرا هوادیدگی فیزیکی به‌جای شیمیایی غالب بوده‌است می‌باشد. سنگ‌ها، سنگریزه‌ها و موارد زیر در داخل هم ادغام شده‌اند (لایه‌بندی نشده‌اند) و ذرات دانه‌درشت زاویه‌دار هستند (شکل۱۲-۲). منافذ حاصل از چیده‌شدن سنگ، فضاهای ایجادشده وقتی سنگ‌های غلطان بر روی هم قرار می‌گیرند (دربرخی مواقع با زوایای مخاطره‌آمیز)علت اصلی زهکشی آسان بسیاری از ته‌نشست‌های کوهرفت و همچنین تمایل آن‌ها به بی‌ثباتی و حساسیت و فروریزی وحرکت لغزشی به‌خصوص در هنگام حفاری آن‌ها می‌باشد.



شکل ۱۲-۲ یک خاک بارور که از مواد مادری کوه‌رفت در کوه‌های آپالاچی در شرق ایالات متحده تشکیل‌شده است بر جستگیها در عقب عکس زمانی بسیار بلندتر بوده‌اند. اما مواد از گرده‌ی شیب به پایین غلطیده و به شکلی که در خاکرخ مشاهده می‌شود قرار گرفته‌اند به مخلوط فاقد لایه در اندازه‌های مختلف و شکل نسبتاً زاویه‌دار قطعات درشت‌تر توجه کنید.

۲-۸ ته‌نشست‌های آبرفتی و رودخانه‌ای

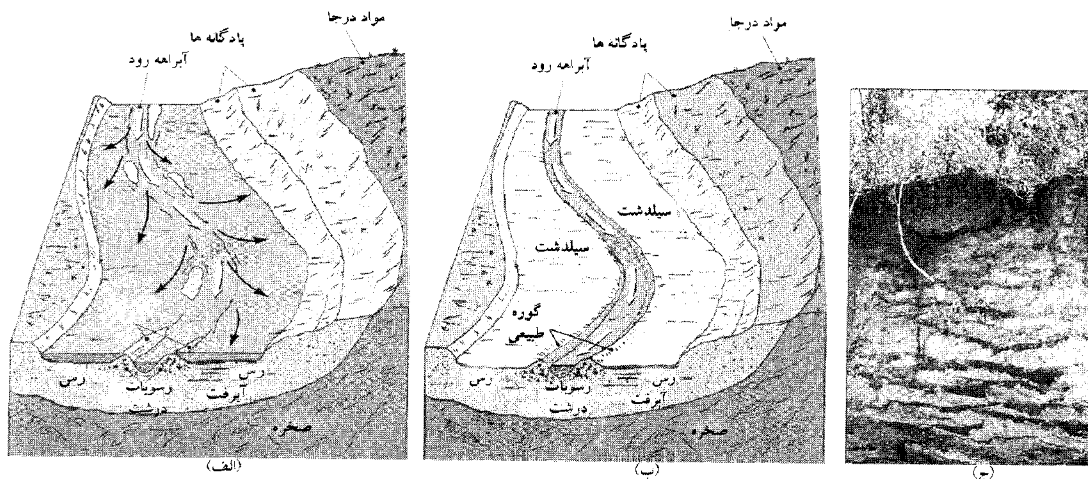
به‌طور کلی ته‌نشست‌های آبرفتی به سه گروه تقسیم می‌شوند که عبارتند از سیلدشت، بادبزن‌های آبرفتی و مصب‌ها که به‌ترتیب موردبحث قرار خواهند گرفت.

---

[1] - Great Plain
[2] - Snake River
[3] - Cascade & Sierra Nevada
[4] - Puget Sound

سیلدشت‌ها

رودخانه‌ها اغلب در بستر خود طغیان کرده و اراضی اطراف را سیل فرا می‌گیرد. سیلدشت آن بخش از دره است که در طول طغیان‌ها زیر سیل باقی می‌ماند. رسوب حمل‌شده به‌وسیله‌ی رودخانه‌های طغیانی ته‌نشست می‌کنند. مواد دانه درشت در نزدیکی بستر رودخانه که آب عمیق‌تر و جریان متلاطم است رسوب‌یافته و مواد دانه‌ریز بسیار دورتر از بستر در جایی که آب سیل آرام‌تر است ته‌نشست می‌شود. هر رویداد مهم سیل لایه‌های جداگانه‌ای از ته‌نشست را به‌جای می‌گذارد که سبب لایه‌بندی خاص در خاک‌های آبرفتی می‌شود (شکل ۱۳-۲).



شکل ۱۳-۲ تشریح تشکیل یک سیلدشت : الف ـ رودخانه‌ای در مرحله‌ی طغیانی از بستر خود خارج شده است و ته‌نشست‌های را در سیلدشت به‌جای گذاشته است، مواد دانه‌درشت در نزدیکی بستر رودخانه، که آب با بیشترین سرعت جاری است ته‌نشین شده‌اند درحالی‌که ذرات ریزتر رس وقتی حرکت آب کند است ته‌نشین می‌شوند. ب ـ بعد از طغیان در ته‌نشست‌های برجای گذاشته گیاهان رشد می‌کنند. ج ـ لایه‌های متفاوت شن، لای و رس مشخصه سیلدشت آبرفتی است و هر لایه حاصل رویداد جداگانه‌ای از طغیان رود می‌باشد.

درطی زمان، اگر درشیب تغییری ایجاد شود رودخانه ممکن‌است درداخل مواد آبرفتی تشکیل‌یافته قبلی خود کندوکاو کرده و پادگانه‌های در بالای سیلدشت در یک طرف و یا دو طرف رودخانه ایجاد کند. بعضی از دره‌های رودخانه‌ای ۲و یا ۳ نظام پادگانه را در ارتفاعات مختلف که هر کدام بیانگر ته‌نشست مواد آبرفتی و کندن رودخانه‌ها در داخل آن‌هاست به نمایش می‌گذارد.

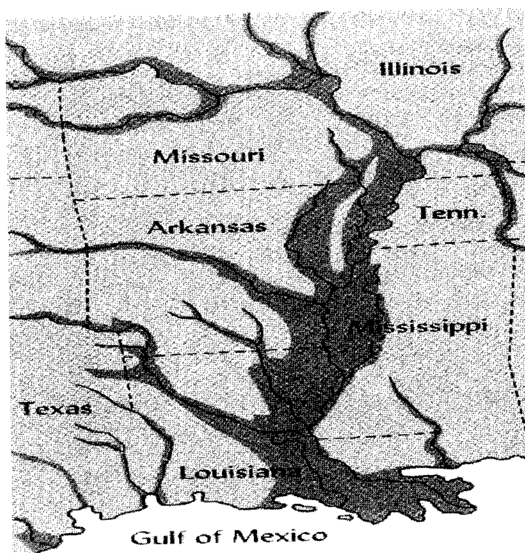
مناطق عمده‌ای از مواد مادری آبرفتی درطول دره‌های رود نیل در مصر و سودان، فرات، گنگا، ایندوس، براهماپوترا و هوانگ‌هو در آسیا و رود آمازون در برزیل و سیلدشت آبرفتی در طول رودخانه می‌سی‌سی‌پی که گسترده‌ترین رودخانه در آمریکا بوده (شکل ۱۴-۲) و دارای عرضی از ۳۰ تا ۱۲۵ کیلومتر می‌باشد یافت می‌شوند. سیلدشت‌های رودخانه‌ای کوچک مواد مادری محلی برای خاک‌ها فراهم می‌کنند.

مواد غنی فرسایش‌یافته از خاک‌های مناطق بالادست در سیلدشت‌ها و مصب‌ها ته‌نشین می‌شوند. خاک‌های حاصل از ته‌نشست‌های آبرفتی معمولاً دارای خصوصیاتی هستند که برای مناطق مسکونی و کشاورزی مناسب می‌باشند. این خصوصیات شامل پستی‌وبلندی آرام، مجاورت با آب، باروری و توان تولید بالا می‌باشد. اگرچه بسیاری از خاک‌های آبرفتی دارای زه‌کشی مناسب می‌باشند اما، در بعضی موارد زهکشی مصنوعی برای محصولات کشاورزی و همچنین شالوده‌های پایدار ساختمانی لازم می‌باشد.

درحالی‌که خاک‌های آبرفتی اغلب در کاربری جنگل و تولید محصولات مناسب می‌باشند باید از کاربری آن‌ها در توسعه ساختمان‌سازی و مناطق شهری عمدتاً اجتناب کرد، متأسفانه، خصوصیات مناسب بسیاری از خاک‌های آبرفتی سبب گردیده که شهرها و شهرکهایی بر روی آن‌ها ایجاد گردند. همان‌طورکه طغیان‌های بزرگ می‌سی‌سی‌پی در سال ۱۹۹۳ و رود اوهایو رود سرخ در سال ۱۹۹۷ نشان داده‌اند، در سیلدشت‌ها به‌رغم پرداخت هزینه‌های سنگین عملیات مهار سیل درآن‌ها، اغلب سبب هدررفت مصیبت‌بار زندگی انسان‌ها درطی طغیان‌های شدید می‌شود.

ثابت‌شده است که در بسیاری از مناطق نصب سامانه‌های زه‌کشی و مهار سیل پرهزینه و نامؤثر بوده است، زارعین و جامعه هزینه‌های سنگینی را برای نگهداری این اراضی در کاربریهای کشاورزی و استفاده شهری می‌پردازند. اقداماتی برای استقرار مجدد شرایط اراضی مرطوب در مناطق کشاورزی در معرض طغیان که زمانی اراضی مرطوب واقعی بوده‌اند به‌عمل آمده است. این خاک‌ها و دیگر خاک‌های

آبرفتی می‌توانند سکونت گاههای طبیعی مانند جنگلهای آبی ایجاد کنند که از نظر تولید الوار و حفظ تنوع زیستی پرندگان و دیگر حیات‌وحش دارای توان تولید بالایی می‌باشند.

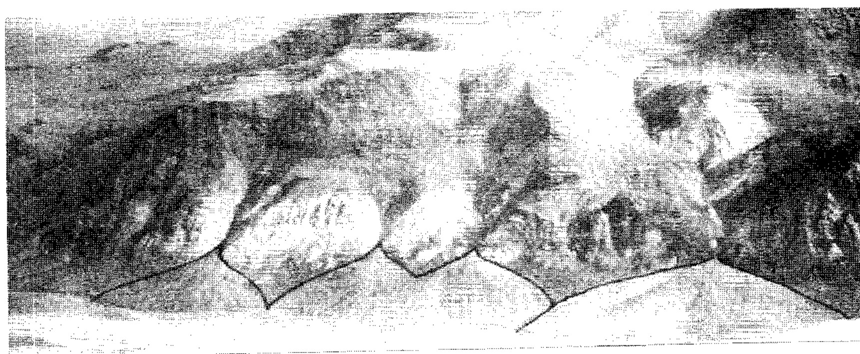


شکل۱۴-۲ سیلدشت و مصب رودخانه می‌سی‌سی‌پی که بزرگ‌ترین اراضی یکپارچه با خاک آبرفتی در کشور آمریکا می‌باشد.

آبرفت‌های بادبزنی شکل

رودهایی که دره‌های باریکی در اراضی مرتفع را به‌جای گذاشته و ناگهان وارد یک دره وسیع‌تر در پایین می‌گردند در اثر پخش آب و کاهش سرعت آن ته‌نشست‌های خود را به‌شکل یک بادبزن (آبرفت بادبزنی) به‌جای می‌گذارند (شکل‌های ۱۵-۲ و ۱۳-۱۹ را مشاهده کنید). جریان سریع آب سبب جداشدن ذرات رسوبی از نظر اندازه می‌شود. اول سنگریزه و ذرات شن را به‌جای گذاشته و سپس مواد دانه ریز در انتهای بادبزن ته‌نشین می‌شوند.

مواد آبرفتی بادبزنی در مناطق وسیعی در قلمروهای کوهستانی و تپه ماهور وجود دارند. خاک‌های ایجادشده از این ته‌نشست‌ها اغلب دارای توان تولید بسیاربالایی می‌باشند، گرچه ممکن‌است دارای بافت درشت باشند. دره‌ی ساکرمنتو[1] در کالیفرنیا و دره‌ی ولمت[2] در اروگون نمونه‌هایی از اراضی وسیع و مهم کشاورزی با مواد آبرفتی در آمریکا می‌باشند.



شکل ۱۵-۲ اراضی آبرفتی بادبزنی شکل در امتداد دره‌ی یک رودخانه در آلاسکا، گرچه اراضی شیب‌دار و کوچک می‌باشند می‌توانند سبب ایجاد خاک‌های دارای زه‌کشی خوب گردند

ته‌نشست‌های مصبی

بیشتر ته‌نشست‌های ریزی که به‌وسیله‌ی رودخانه‌ها حمل می‌شوند در سیلدشت‌ها ته‌نشین نشده، بلکه در داخل دریاچه‌ها و یا اقیانوس‌ها تخلیه می‌شوند. بعضی از مواد تعلیقی در نزدیک دهانه‌ی رود ته‌نشین شده و یک مصب ایجاد می‌کنند. این ته‌نشست‌های مصبی به هیچ وجه در سراسر جهان یکسان نبوده و در دهانه‌ی بعضی از رودها یافت می‌شوند. یک مصب معمولاً تداوم یک سیلدشت است (پیشانی سیلدشت). این مصب‌ها معمولاً دارای بافت رسی بوده و احتمالاً به حالت مردابی می‌باشند.

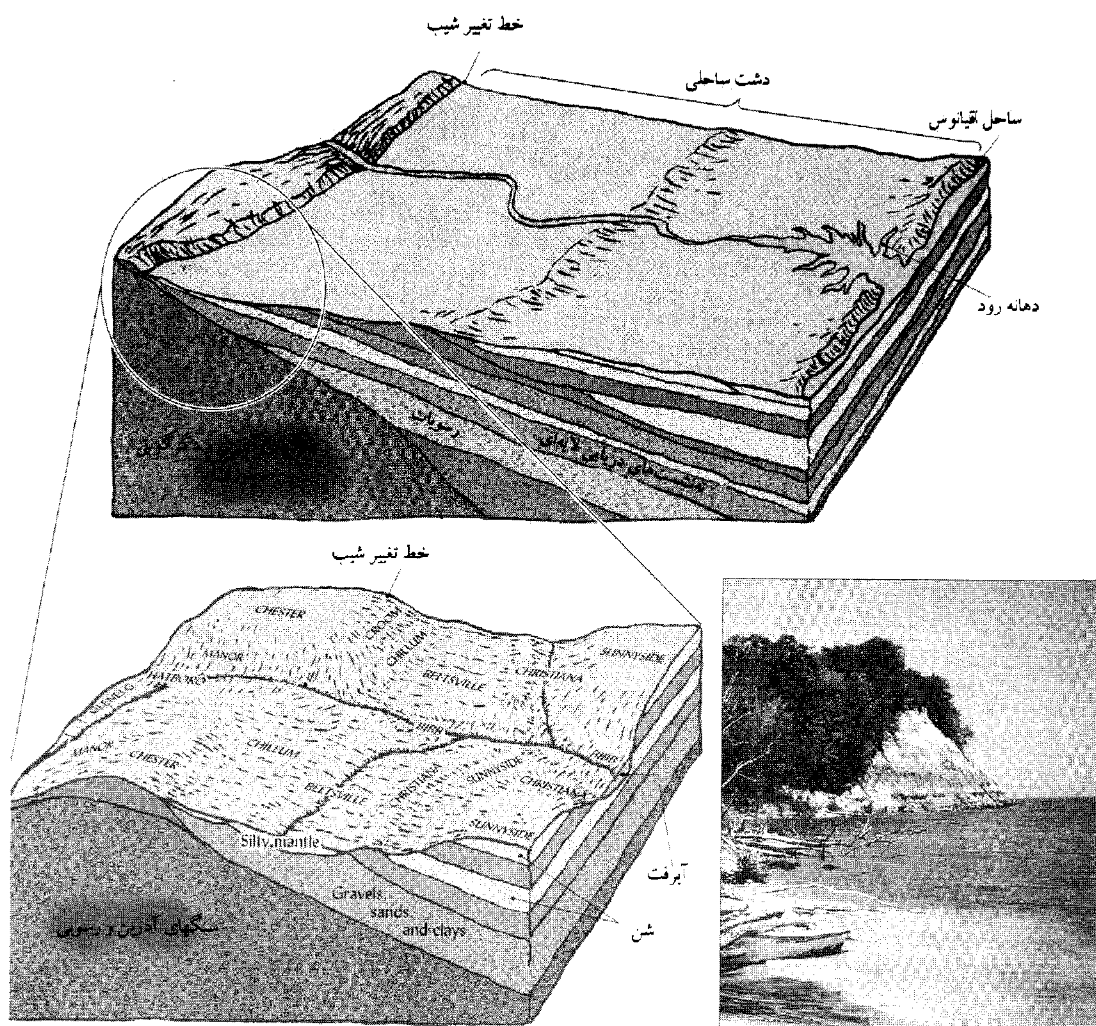
---

1 - Sacramento
2 - Willa Mette

مرداب‌های مصبی یکی از مهم‌ترین و گسترده‌ترین زیستگاه‌های ماندابی می‌باشند. بسیاری از این زیستگاه‌ها حفاظت‌شده و یا به حال اول برگردانده شده‌اند، اما تمدن‌ها چه باستانی و چه نوین سبب توسعه‌ی اراضی کشاورزی مهم (اکثراً به تولید برنج اختصاص یافته‌اند) با ایجاد نظامهای زه‌کشی و مهار سیل در مصب رودهایی مانند آمازون، فرات، گنگ، هوانگ‌هو، می‌سی‌سی‌پی، نیل، یو و فرات شده است.

۲-۹ تەنشست‌های دریایی

بسیاری از تەنشست‌ها که به‌وسیله‌ی رودها حمل می‌شوند نهایتاً در اقیانوس‌ها، دریاچه‌ها، دریاها و خلیج‌ها تەنشین می‌شوند. ذرات درشت در نزدیکی ساحل و ذرات نرم‌تر در فاصله‌ای دورتر از ساحل رسوب می‌یابند (شکل ۱۶- ۲). در طی زمان‌های طولانی این تەنشست‌های زیر آبی تجمع پیدا کرده و ضخیم می‌گردند و در بعضی موارد ارتفاع آن‌ها به ۱۰۰ها متر می‌رسد. تغییر در ارتفاع نسبی زمین و دریا ممکن‌است سبب گردد که این تەنشست‌های دریایی بالاتر از سطح متوسط آب ظاهر شده و دشت‌های ساحلی را ایجاد کنند. این تەنشست‌ها بعداً در معرض چرخه‌ی جدید هوادیدگی و تشکیل خاک قرار می‌گیرند.



شکل ۱۶-۲ نمودارهایی که نشان می‌دهد تەنشست‌ها به‌وسیله‌ی آب‌های دریا در مجاورت سنگ‌های آذرین و دگرگونی ساحل تەنشین می‌شوند. توجه کنید که تەنشست‌های دریایی لایه‌های متناوب رس ریز و شن و سنگریزه بافت درشت می‌باشند. در بخش پایین عکس سمت راست چنین لایه‌بندی را در تەنشست‌های دریایی نشان می‌دهد. خاک‌های ایجادشده از مواد مادری دریایی نیز در نمودار نشان داده شده‌اند (نام‌های خاک‌ها با حروف بزرگ). رود در داخل تەنشست‌های دریایی کندوکاو کرده و بعضی از مواد آبرفتی خود را تەنشین کرده است. این دیاگرام وعکس رابطه بین تەنشست‌های دریایی و مواد در جا در دشت‌های ساحلی جنوب شرقی ایالات متحده را نشان می‌دهد.

یک دشت ساحلی معمولاً دارای شیب متوسط می‌باشد. در بخش‌های پست نزدیکتر به خط ساحل، بسیار مسطح و در اراضی دورتـر در خشکی تپه‌ماهوری می‌باشند. جایی‌که رودها و نهرها از شیب‌های تند به پایین روان هستند، دارای زمین‌نمای بریده‌شده ژرف می‌باشند. سطح اراضی در بخش‌های پایین ساحلی ممکن‌است حداقل در بعضی از مواقع سال اندکی از سطح آب بالاتر باشد، بنابراین جنگل‌های ماندابی و باتلاق‌ها از ویژگی‌های این مواد مادری می‌باشند.

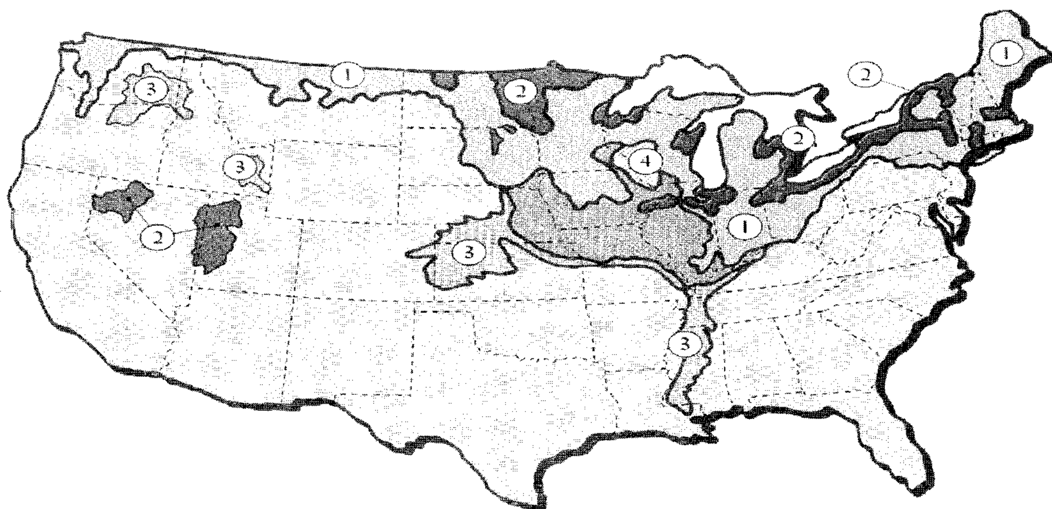
ته‌نشست‌های دریایی از نظر بافت بسیارمتغیر می‌باشند، بعضی شنی بوده که دربسیاری از دشت‌های ساحلی اقیانوس اطلس چنین اسـت بعضی دیگر دارای رس زیاد می‌باشند مانند ته‌نشست‌های دشت‌های مسطح درخت زار اقیانوس اطلس و خلیج‌ها و اراضی کاج زار داخلـی در آلاباما و می‌سی‌سی‌پی. وقتی رودخانه‌ها در داخل ته‌نشست‌های دریایی کندوکاو می‌کنند (شکل ۱٦-۲) با رس‌ها، لای و شن‌ها در کنـار هم مواجه می‌شویم. تمام این ته‌نشست‌ها از فرسایش اراضی مرتفع حاصل‌شده‌اند که در بعضی از آن‌ها قبل از حمـل و انتقـال هوادیـدگی به‌شدت انجام گرفته است. درنتیجه خصوصیت خاک‌های حاصل به‌شدت تحت تأثیر مواد مادری دریایی می‌باشد. بسیاری از ته‌نشست‌هـای دریایی دارای گوگرد بوده و در بعضی از مراحل خاک‌سازی برای مدتی در اثر اکسایش گوگرد اسـید تولیـد مـی‌کننـد (بخـش ۲۱-۱۳ و تابلو ۲٤ را مشاهده کنید).

۲-۱۰ مواد مادری انتقال‌یافته به‌وسیله‌ی یخ و آب ذوب‌شده

در دوره‌ی پلیستوسن حدود ۱۰ هزار تا ۱۰ میلیون سال قبل حدود ۲۰ درصد سطح پیشین شامل آمریکای شمالی، اروپـای شـمالی و مرکزی و بخش‌هایی از شمال آسیا در تسخیر لایه‌های بزرگ یخ بود و بعضی بیش از ۱ کیلومتر ضخامت داشتند.

یخچال‌های امروزی در مناطق قطبی و کوهستانهای مرتفع حدود ۳/۱ مساحت جهان را پوشانده اما به اندازه‌ی یخچال‌های دوره عصـر یخ‌بندان پلیستوسن ضخامت ندارند. با این اوصاف، اگر تمام یخچال‌های موجود ذوب بشوند سطح آب دریا حدود ۶۵ متر بالا خواهد آمـد. بعضی از دانشمندان برآورد می‌کنند که اگر این شیوه گرم‌شدن کره‌ی زمین تداوم یابد احتمال ذوب یخچال‌های موجود و همراه بـا آن بـالا آمدن سطح آب دریا سبب به‌زیر آب رفتن بسیاری از مناطق ساحلی در سرتاسر جهان خواهد شد.

در آمریکای شمالی یخچال‌های دوران پلیستوسن قسمت بیشتر سطح کانادای امروزی، آلاسکای جنوبی و بخش شمالی کشور آمریکا را پوشانده بود. بیشترین توسعه در جنوب به‌طرف پایین در دره‌ی می‌سی‌سی‌پی بود که با کمترین مقاومت به‌دلیل پسـتی‌وبلنـدی ملایـم‌تـر و پایین‌تر مواجه بود (شکل ۱۷-۲).



شکل ۱۷-۲ مناطقی در ایالات متحده آمریکا که به‌وسیله‌ی صفحات یخ قاره‌ای و ته‌نشست‌ها چه به‌طور مستقیم وچه همراه با یـخ یخچـالی پوشـیده‌شـده بود.۱- ته‌نشست‌های یخچالی در انواع مختلف ۲- ته‌نشست‌های یخچالی دریاچه‌ای ۳- پوشش بادنهشته[1] (توجه کنید لس بخش عظیمی از ته‌نشسـت‌هـای یخچالی در غرب میامی را پوشانده بود) ٤- منطقه‌ای عمدتاً در ایالت ویسکانزین که از یخبندان فرار کـرده اسـت و بخشـی از آن بـه‌وسـیله‌ی بادنهشـته پوشیده‌شده است.

[1] - Loess

اروپا و مرکز آمریکای شمالی ظاهراً چندین دوره‌ی مشخص غلبه یخبندان را در طول ۱ تا ۱/۵ میلیون سال تحمل کرده‌اند. این دوران تسخیر یخچالی با دوره‌های بین یخچالی طولانی عاری از یخبندان با آب و هوای گرم، حتی شبه‌حاره‌ای از همدیگر جدا می‌شوند. ما هم اکنون شاید از اعتدال هوا در دوره بین یخچالی دیگری لذت می‌بریم.

با جلو راندن یخ در یخچال، رگولیت موجود با پوشش خاکی آن جاروب گردید. تپه‌ها گرد شده و دریاها پر شدند. و در بعضی موارد سنگ‌های زیرین به‌شدت آسیاب گردیده و کنده شدند و بنابراین یخچال، به‌وسیله‌ی سنگ‌ها و تمام مواد نامتراکم پر شده و حجم زیادی از این مواد با جلو راندن یخچال حمل گردیدند(شکل ۱۸-۲). با ذوب‌شدن یخ و عقب‌نشینی یخچال یک لایه از ته‌نشست‌های یخچالی و یا دریفت به‌جای گذاشته شدند. این فرایند سبب ایجاد رگولیت جدید و مواد مادری تازه برای تشکیل خاک گردید.

نهشته‌های یخچالی و دیگر ته‌نشست‌های همراه

واژه‌ی نهشته یخچالی(دریفت[1]) به تمام مواد با منشاء یخچالی اطلاق می‌شود که یا با یخ و یا آب همراه آن ته‌نشین‌شده باشند. موادی که مستقیماً به‌وسیله‌ی یخ ته‌نشین‌شده باشند یخرفت(تیل[2]) گفته می‌شود که مخلوط ناهمگن از مواد رسوبی در اندازه‌های متفاوت از رس تا خرسنگ می‌باشد. یخرفت ممکن‌است از نظر ظاهری چیزی شبیه مواد کوه‌رفت باشد. با این استثناء که مواد دانه درشت به‌خاطر آسیاب‌شدن در طول مسافرت خود در یخ بیشتر گرد بوده و ته‌نشست‌ها به‌خاطر وزن بسیار زیاد طبقات بالایی یخ بیشتر متراکم‌شده‌اند. تیل‌ها در برجستگیهای نامنظم بنام یخرفت سطحی(مورین[3]) یافت می‌شوند. شکل ۱۹-۲ نشان می‌دهد که چگونه لایه‌های یخچالی انواع مختلفی از مواد مادری را به‌جای گذاشته‌اند.

یخ‌آبرفت[4] و ته‌نشست‌های دریاچه‌ای

طغیان‌های آب به‌راه افتاده از ذوب یخچال‌ها بار بزرگی از ته‌نشست‌ها را حمل کردند. در دره‌ها و دشت‌ها که آب‌های یخچالی قادر بودند به‌آسانی جریان یابند ته‌نشست‌ها یک دشت یخ‌آبرفت را تشکیل دادند (شکل ۱۹-۲). این ته‌نشست‌ها همراه با شن و سنگ‌ریزه، که به‌وسیله‌ی آب جاری جداگانه تفکیک‌شده‌بودند مواد پرکننده دره‌ها[5] می‌باشند که در بخشهایی از امریکا وجود دارند. شکل ۲۰-۲ نشان می‌دهد که لایه‌های تفکیک‌شده از مواد ریز و درشت ته‌نشست‌های یخچالی به‌وسیله‌ی مخلوطی از یخرفت پوشش‌یافته‌اند.

وقتی پیشانی یخ به توقف‌گاهی رسید که در آنجا فرار آسان آب ممکن نبود. ماندابی‌شدن آغاز گردیده و نهایتاً دریاچه بزرگی تشکیل گردید (شکل ۱۹-۲). به‌خصوص در آمریکا این دریاچه‌ها در جنوب منطقه‌ی دریاچه‌های بزرگ و دره رودخانه‌ی سرخ در ایالت مینه‌سوتا و مانی توبا[6] (کانادا) فراوان می‌باشند (شکل ۱۷-۲ را مشاهده کنید) دریاچه‌ی آخری، که دریاچه‌ی یخچالی (آگاسیز[7]) نام دارد با حدود ۱۲۰۰ کیلومتر طول و ٤۰۰ کیلومتر عرض حداکثر گسترش خود را داشته است.

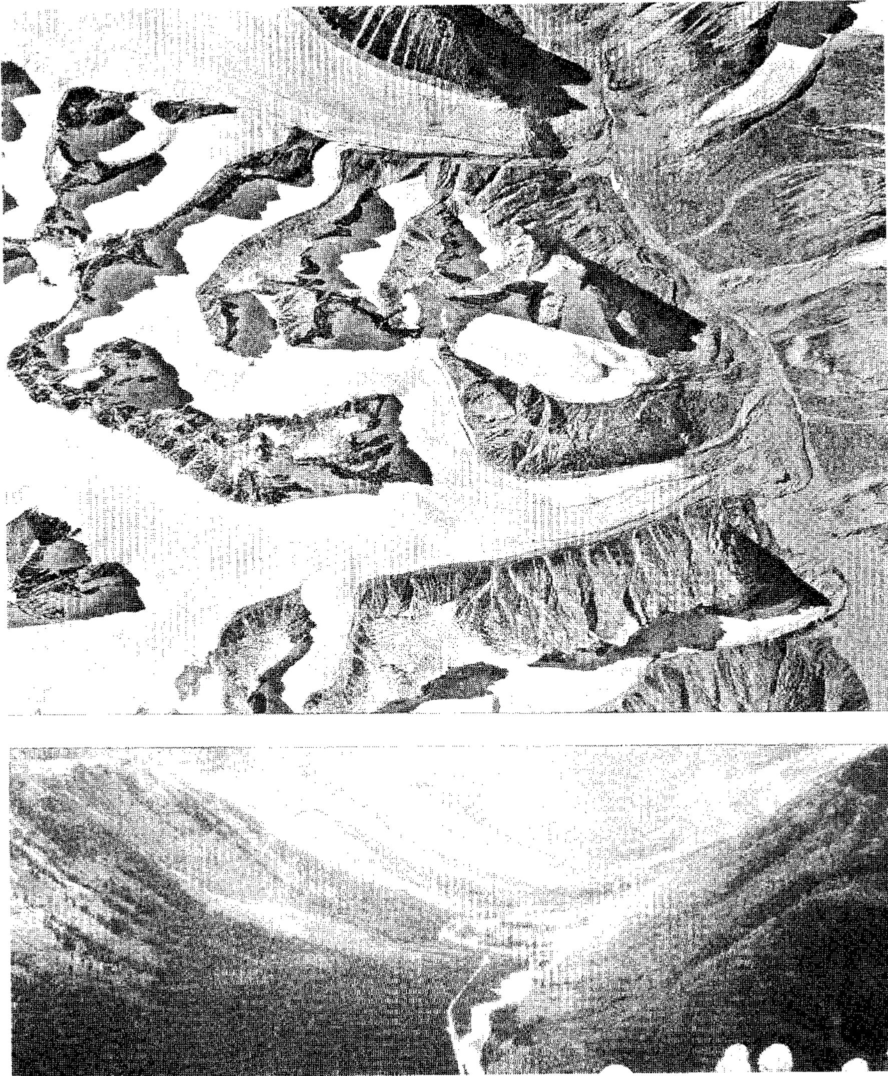
نهشته‌های دریاچه‌ای[8] که در این دریاچه‌های یخچالی تشکیل شده‌اند شامل مواد درشت مصبی و ته‌نشست‌های شنی در نزدیکی ساحل تا اراضی وسیع با ته‌نشست‌های لای ریز و رس در آبهای عمیق‌تر آرام در مرکز دریاچه می‌باشد. پس از خشک‌شدن دریاچه، اراضی با خاک‌های بارور (گرچه همیشه دارای زه‌کشی خوب نمی‌باشند) به‌جای آن ظاهر می‌گردد.

۱۱-۲ مواد مادری انتقال‌یافته به‌وسیله‌ی باد

باد قادر است مقدار عظیمی از مواد را یکجا حمل کرده و در محل دیگر به‌جای بگذارد. باد می‌تواند به‌طور بسیار مؤثر مواد را از خاک و یا رگولیت که سست و خشک باشد و به‌وسیله‌ی پوشش گیاهی حفاظت نشده باشد بر دارد. اراضی بایر خشک به‌عنوان مواد مادری برای تشکیل خاک در فاصله‌ای به دوری دو طرف مقابل کره زمین عمل کرده و کماکان عمل کند. هرچه ذرات ریزتر باشند، باد آن‌ها را بلندتر کرده و به فاصله‌ای طولانی‌تر انتقال می‌دهد. مواد حمل‌شده به‌وسیله‌ی باد (ائولین[9]) که به‌عنوان ماده‌ی مادری برای تشکیل خاک اهمیت

[1] - Drift
[2] - Till
[3] - Moraine
[4] - Outwashplain
[5] - Valley Fill
[6] - Manitoba
[7] - Agassiz
[8] - Lacustrine Deposit
[9] - Eolian

دارند به ترتیب از مواد درشت تا ریز عبارتند از شن‌تپه‌ها[۱]، بادنهشته(لس[۲])، و گرد وخاک معلق در هوا[۳]. خاکسترهای آتشفشانی[۴] حاصل از آتشفشان‌های انفجاری مورد خاص می‌باشند که شایان اشاره می‌باشند.



شکل ۱۸-۲ (عکس بالا) زبانه‌هایی از یک یخچال امروزی در کانادا. به نشانه‌ها و شواهد انتقال مواد به‌وسیله‌ی یخ و ظاهر گرد دو لبه‌ی عمده‌ی یخ توجه کنید (عکس پایین) این دره U شکل در کوه‌های راکی بیانگر عمل یخچال‌ها در حفر اراضی می‌باشد. یخچال باعث شد کف دره با ته‌نشست‌های یخچالی پوشانده شود. بعضی از مواد کنده‌شده به‌وسیله‌ی یخچال‌ها کیلومترها پایین‌تر در دره به‌جای گذاشته‌شده است.

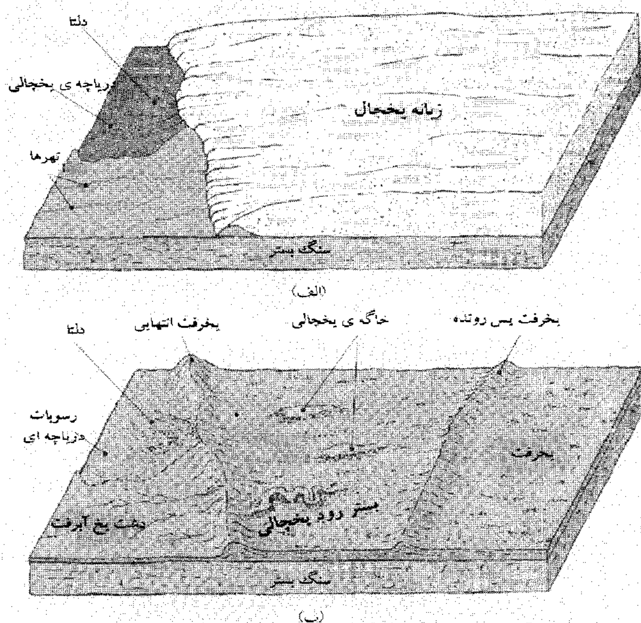
شن تپه‌ها

درطول ساحل دریاها و دریاچه‌های بزرگ و در بیابان‌های بایر وسیع، بادهای شدید ذرات متوسط و ریز شن را برداشت کرده و آن‌ها را در تپه‌هایی به اسم شن‌تپه‌ها انبار می‌کند. شن‌تپه‌ها که ارتفاعی تا ۱۰۰ متر دارند ممکن‌است در عکس‌العمل به باد غالب به جابه‌جایی آرام محل خود ادامه دهند. ازآن‌جاکه اکثر کانی‌های دیگر خردشده و به‌وسیله‌ی امواج حمل شده‌اند شن‌های سواحل معمولاً از کانی کوارتز که عاری از عناصر غذایی بوده و در مقابل هوادیدگی بسیار مقاوم می‌باشد تشکیل‌شده است. گرچه در طول زمان گیاهان چمنی خاص شن‌تپه‌ها و دیگر گیاهان پیش آهنگ ریشه دوانیده و فرایند تشکیل خاک شروع می‌شود. خاک‌های شنی که کیلومترها در شرق دریاچه‌ی

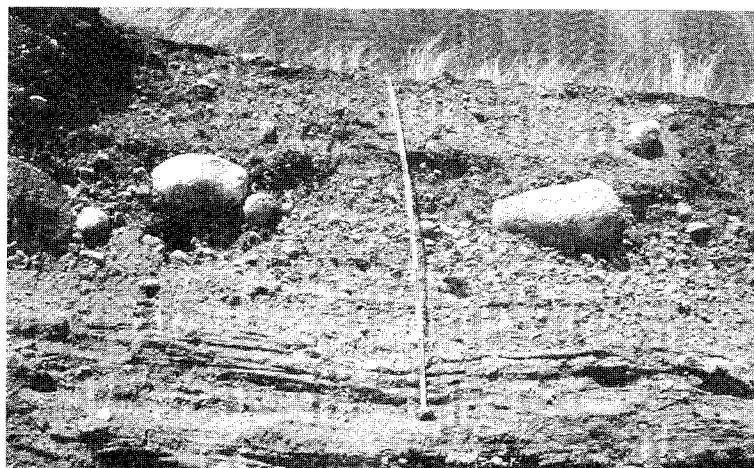
[1] - Sand dune
[2] - Loess
[3] - Aerosolic dust
[4] - Volcanic ash

میشگان گسترش یافته‌اند نمونه‌ای از این فرایند می‌باشند. بنظر می‌رسد بعضی از خاک‌های خیلی عمیق در دشت ساحلی آتلانتیک که بر روی شن‌تپه‌ها مشخص‌کننده‌ی محل یک ساحل قدیمی تشکیل‌شده باشند.

شن‌های بیابان اغلب تحت غلبه کوارتز می‌باشند اما ممکن‌است شامل مقدار قابل توجهی از دیگر کانی‌ها بوده که در استقرار بیشتر پوشش گیاهی و تشکیل خاک‌ها درصورت وقوع بارندگی کافی مؤثر باشند. تپه‌های کاملاً سفید خالص تشکیل‌شده از ذرات گچ در اندازه‌ی شن در منطقه‌ی شن‌سفید[1] ایالت نیومکزیکو نمونه جالب توجهی از کانی‌های قابل هوادیدگی در شن‌های بیابان می‌باشد.



شکل ۱۹-۲ تشریح چگونگی تـه‌نشـینی مـواد یخچـالی مختلف الف- زبانه‌ی یخچالی در حرکت به سمت چـپ آب و ته‌نشست‌ها را به داخل یک دریاچـه‌ی یخچـالی و رودخانه‌ها تخلیه کرده و یخرفـت (تیـل) را در پیشـانی خود جمع‌آوری می‌کند. ب- پس از عقـب نشـینی یـخ، یخرفت سطحی نهایی، زمینی و برگشتی همراه با تپه‌هـای سیگاری شکل (خاگه‌های یخچالی)[2]، بستر رودخانه‌هـای جاری در زیـر یخچـال‌هـا(اسـکرز)[3]، تـه‌نشسـت‌هـای دریاچه‌ای، مصبی و فرسایشی آشکار می‌شوند.



شکل ۲۰-۲ لایه‌بندی ذرات با انـدازه‌هـای مختلف را می‌توان در یـک تـه‌نشسـت‌هـای فرسایشـی یخچـالی در بخـش پـایین ایـن خاکرخ در داکوتای شـمالی مشـاهده کـرد. مواد فرسایشی به‌وسیله‌ی یک لایـه یخرفـت (تیل) با توزیع تصـادفی تـه‌نشسـت‌هـا در اندازه‌های تخته سـنگ تـارس پوشـیده‌شـده است. به لبه‌ی گردشده سـنگ‌هـا کـه دلیـل صیقل‌یافتن در داخـل یخچـال اسـت توجـه کنند.

بادنهشته (لُس)

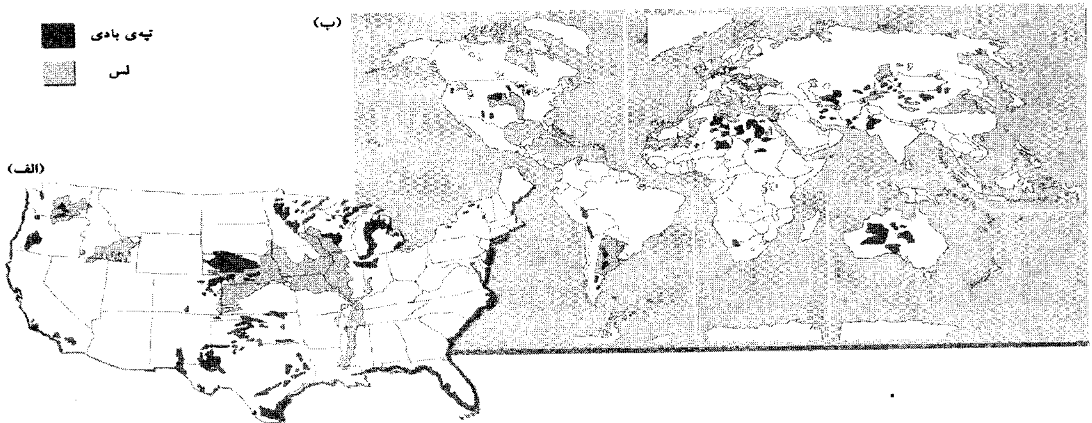
مواد بادرفت بنام لُس عمدتاً از لای با مقداری شنی ریز و رس تشکیل‌شده است. این مواد مادری منطقـه‌ی گسـترده‌ای را در آمریکـای مرکزی، اروپای شرقی، آرژانتین و آسیای مرکزی (شکل ۲۱-۲) پوشش داده اند. لُس ممکن‌است صدها کیلومتر به‌وسیله‌ی باد جابه‌جا شـده باشد. ته‌نشست‌هایی که از منبع اصلی در فاصله‌ی دورتر باشند از ریزترین ذرات تشکیل‌شده‌اند.

---

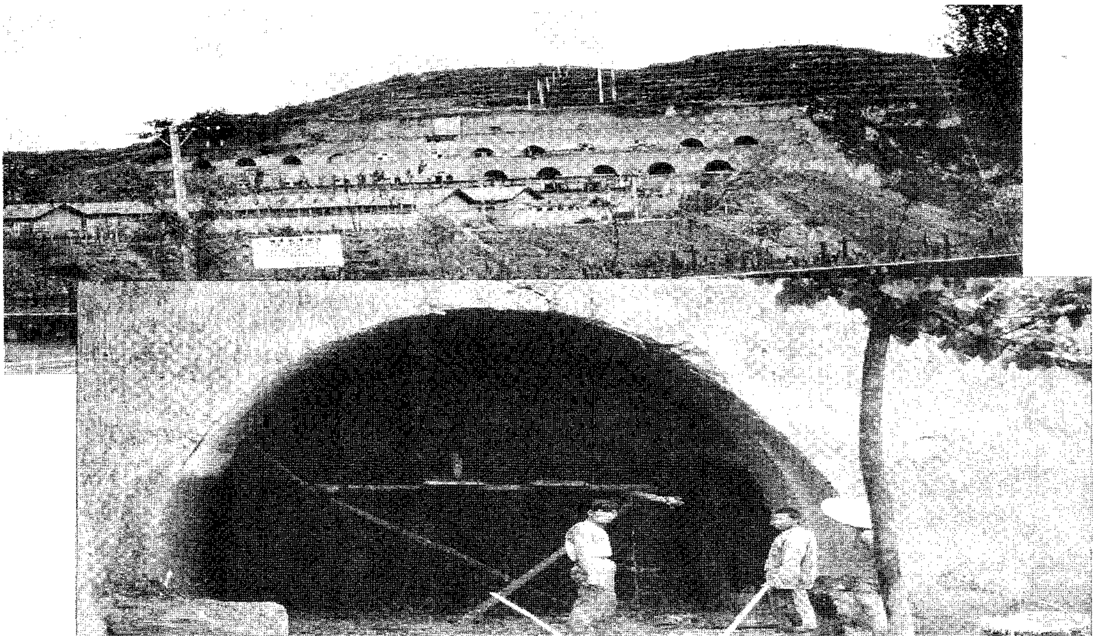
[1] - Whitesand
[2] - Drumline
[3] - Eskers

در آمریکا (شکل ۲۱-۲) منبع اصلی لس، گستره‌های عظیم بایر یخرفت و دشت‌های یخ‌آبرفت است که در دره‌های رودخانه‌های میسوری و می‌سی‌سی‌پی با توقف پس‌روی در آخرین دوره‌ی یخبندان باقی مانده‌اند. در طول ماههای زمستان بادها مواد دانه‌ریز را جدا کرده و با خود به‌طرف جنوب حمل کرده و خاک‌های موجود و مواد مادری را پوششی از لس به عمق ۸ متر فرا گرفته است.

در چین مرکزی و غربی ته‌نشست‌های لُسی با عمق ۳۰ تا ۱۰۰ متر سطحی حدود ۸۰۰/۰۰۰ کیلومتر مربع را پوشانده‌است (شکل ۲۲-۲). این مواد از بیابان‌های آسیای مرکزی به‌وسیله‌ی باد حمل شده و معمولاً ارتباط مستقیمی با یخچال‌ها ندارند. این ته‌نشست‌ها و سایر ته‌نشست‌های لسی تمایل دارند که خاک‌های لای‌دار با باروری و توان تولید بالا ایجاد کنند.



شکل ۲۱-۲ الف- توزیع تقریبی بادنهشته (لُس) و شن‌تپه‌ها در ایالات متحده‌ی امریکا. خاک‌های تکامل‌یافته از بادنهشته معمولاً دارای بافت لوم لای‌دار و اغلب غنی از شن ریز می‌باشند. مخصوصاً به گسترش آن به‌طرف پایین در ساحل شرقی رودخانه می‌سی‌سی‌پی و مناطق کوچک‌تر بادنهشته در واشنگتن، اورگون و ایداهو توجه کنید. مهمترین اراضی دارای شن‌تپه‌ها عبارتند از شن‌تپه‌های نبراسکا و شن‌تپه‌ها در ساحل شرقی دریاچه‌ی میشگان ب- سایر ته‌نشست‌های بادی جهان شامل بادنهشته آرژانتین، اروپای شرقی و شمال چین و شن‌تپه‌ها آفریقا و استرالیا می‌باشد.



شکل ۲۲-۲ روستاییان خانه‌هایی از بادنهشته‌های لُسی در شهرستان زیان کشور چین حفر می‌کنند. بادنهشته‌های لُسی عمدتاً از لای تشکیل‌شده که به‌وسیله‌ی مقادیر اندک رس به‌هم چسبیده‌اند و پیوند رس سبب می‌شود که در هنگام حفاری، لس پایدار باشد اما باید مواد لسی از بارندگی همانند این دیواره قایم محافظت شوند. حفاری‌های شیب‌دار از این مواد به سرعت فرو ریخته و درصورت اشباع با آب باران شسته می‌شوند. بریدگیهای قایم چهره‌ی معمول اراضی لسی در سرتاسر جهان می‌باشد.

گرد و غبار هوا

ذرات خیلی ریز (حدود ۱ تا ۱۰ میکرون) که در ارتفاعات بالای جو حمل می‌شوند ممکن‌است قبل از تەنشینی، معمولاً با باران هزاران کیلومتر را طی کنند. این ذرات ریز گرد و غبار ایروسل نام دارند، زیرا آن‌ها به‌خاطر اندازه‌ی بسیار ریز خود می‌توانند به حالت تعلیق در هوا باقی بمانند.

درحالی‌که این ذرات اراضی را به ضخامت بادنهشته‌های لُسی نمی‌پوشانند اما تأثیر آن‌ها در تشکیل خاک در بعضی موارد قابل‌توجه است. بسیاری از کربنات کلسیم خاک‌های غرب آمریکا احتمالاً از گردوغبار بادرفت تشکیل‌شده‌اند. مطالعات جدید نشان داده‌اند که گردوغبار ناشی از بیابان صحرا در شمال افریقا، که بر فراز اقیانوس اطلس در نیوار فوقانی حمل‌شده‌اند منبع اکثر کربنات کلسیم و سایر عناصر غذایی است که در خاک‌های شدیداً آبشویی‌شده حوزه‌ی امازون در آمریکای جنوبی یافت می‌شود.

خاکسترهای آتشفشانی

در طول انفجارات آتشفشانی قطعات گدازه[1] در پیرامون نزدیک دهانه‌ی آتشفشان سقوط کرده درحالی‌که ذرات ریز شیشه‌ای خاکستر ممکن‌است اراضی وسیعی را در سمت باد پوشش دهد. خاک‌های تکامل‌یافته از خاکسترهای آتشفشان در فاصله چند صد کیلومتری دهانه‌ی آتشفشانهایی که اقیانوس کبیر را محاصره کرده‌اند یافت می‌شوند. مناطق مهمی با ماده مادری خاکستر آتشفشانی در ژاپن، اندونزی،نیوزلند، آمریکای غربی (هاوایی، مونتانا، اروگون، واشنگتن و ایداهو) مکزیک و شیلی یافت می‌شوند. خاک‌های تشکیل‌شده به‌طور مشخص سبک و متخلخل می‌باشند و تمایل دارند ماده‌ی آلی را بسیار سریعتر از دیگر خاک‌های منطقه در خود جمع کنند.

۲-۱۲ تەنشست‌های آلی

مواد آلی در مناطق مرطوب هنگامیکه نرخ رشد گیاهی از نرخ تجزیه‌ی پس‌مانده‌های گیاهی فزونی گیرد تجمع می‌یابند. در طول قرنها بقایای گیاهان آبدوست مانند علف استخرها، جگن، نی، خزه، بوته‌ها و درختان خاص تجمع‌یافته است. این بقایا در داخل آب غرق گردیده و اکسایش آن‌ها به‌خاطر نبود اکسیژن متوقف می‌شود. درنتیجه، مواد آلی با چندین متر ضخامت به‌وجود می‌آید (شکل ۲۳-۲). به‌طور کلی این تەنشست‌های آلی پیت نامیده می‌شوند.

توزیع و تجمع پیت‌ها

نهشته‌های پیت در تمام جهان یافت می‌شوند اما بیشترین توسعه آن‌ها در اقالیم خنک و در مناطق تسخیرشده یخچالی می‌باشد. حدود ۷۵٪ از سطح ۳۴۰ میلیون هکتار اراضی پیت‌زار جهان در کانادا و روسیه شمالی یافت می‌شود. ایالات متحده با۲۰ میلیون هکتار وبا فاصله زیاد سوم می‌باشد. میزان تجمع نهشته‌های آلی منطقه به منطقه متفاوت می‌باشد. در اقلیم گرم فلوریدا، نهشته‌های پیت در مناطق باتلاقی به‌مدت ۳ تا ٤ هزار سال با نرخ ۰/۸ میلیمتر در سال تجمع یافته است. در ایالت ویسکانزین برآورد نرخ تجمع ۰/۲ تا ۰/٤ میلمتر در سال بوده است.

انواع پیت‌ها

بر اساس سرشت مواد مادری ٤ نوع پیت مشخص‌شده است.

۱- پیت خزه‌ای[2] عبارتست از بقایای خزه‌ها مانند اسفاگنوم.

۲- پیت علفی، بقایای گیاهان علفی مانند جگن، نی و لولی می‌باشد.

۳- پیت چوبی . بقایای گیاهان چوبی مانند درختان و بوته‌ها می‌باشد.

٤- پیت رسوبی، بقایای گیاهان آبزی مانند جلبک‌ها و فضولات حیوانات آبزی.

تەنشست‌های آلی معمولاً شامل دو نوع و یا انواع بیشتر پیت‌ها می‌باشند. لایه‌بندی متناوب از پیت‌های مختلف و همچنین مخلوط پیت‌ها معمول می‌باشد. به‌دلیل توالی و غلبه نباتات به‌محض تراکم بقایا شرایط برای رشد درختان مناسب می‌گردد (شکل ۲۳-۲ را مشاهده کنید) پیت‌های چوبی اغلب در قسمت فوقانی مواد آلی قرار دارند.

---

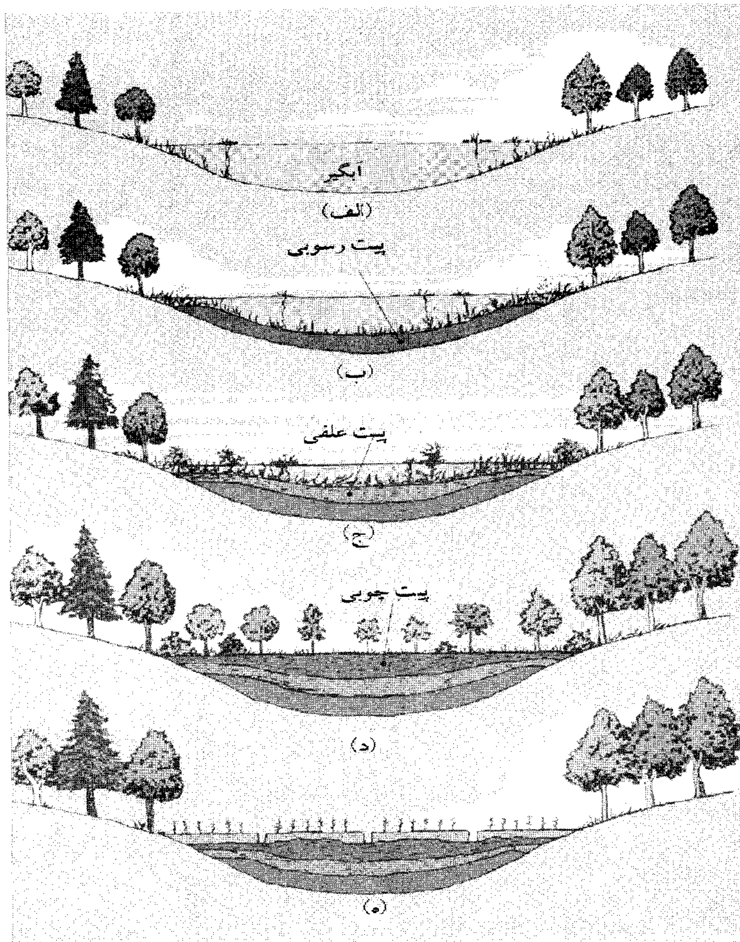
[1] - Cinders
[2] - Moss peat

در مواقعی که اراضی ماندابی زه‌کشی می‌شوند، پیت‌های چوبی سبب ایجاد خاک‌های کشاورزی با توان تولید بالا می‌گردند که در تولید سبزی‌ها بسیار پرارزش می‌باشند. پیت خزه‌ای دارای ظرفیت نگهداری آب زیادی بوده و درضمن آن‌ها کاملاً اسیدی می‌باشند. پیت رسوبی معمولاً به‌عنوان خاک نامطلوب می‌باشد، این مواد بسیار کلوییدی و متراکم بوده و در حالت خیس‌بودن لاستیک مانند می‌باشند. پیت رسوبی در صورت خشک‌شدن در مقابل خیس‌شدن مجدد مقاومت کرده و نا هموارو سخت باقی می‌ماند، خوشبختانه این نوع پیت عمدتاً در قسمت‌های عمیق خاکرخ وجود داشته و معمولاً مشاهده نمی‌شوند مگر درصورت زه‌کشی اراضی باتلاقی که مشکلاتی را فراهم می‌کند.

اگر پس‌مانده‌های گیاهی چنان دست‌نخورده باقی مانده باشد که اشکال گیاهی قابل‌تشخیص باشند به ماده‌ی آلی پیت و یا فیبریک[1] گفته می‌شود و اگر اکثر مواد چنان تجزیه شده باشند که تشخیص اندامهای گیاهی مشکل باشد به آن واژه ماک[2] و یا ساپریک[3] اطلاق می‌شود. در پیت‌های ماکی یا همیک[4] بخشی از اندامهای گیاهی قابل تشخیص بوده و بعضی قابل تشخیص نمی‌باشد.

حفظ اراضی مرطوب: مناطق با اراضی مرطوب از نظر زیستگاههای طبیعی برای حیات وحش بااهمیت می‌باشند و زه‌کشی آن‌ها وسعت این زیستگاهها را کاهش می‌دهد. درحالی‌که ماده‌ی آلی مبنایی برای خاک‌های دارای توان تولید بالا شمار می‌رود متخصصین محیط زیست استدلال می‌کنند این کاربری ناپایدار است، زیرا به‌محض زه‌کشی این اراضی بعداز یک قرن و یا بیشتر ماده‌ی آلی تجزیه و ناپدید می‌گردد. بنابراین این اراضی باید در حالت طبیعی خود نگهداری شده و یا در صورت تبدیل به آن برگردانده شوند.(بخش ۸-۷ را مشاهده کنید).

با این درک که اثرات مواد مادری بر روی خصوصیات خاک بواسطه‌ی اثرات مشترک اقلیم با فعالیت‌های زیستی، پستی‌وبلندی و زمان تغییر می‌کند حال به تشریح چهار عامل دیگر خاک می‌پردازیم و بحث خود را با اقلیم آغاز می‌کنیم.



شکل ۲۳-۲ مراحل تکامل یک مرداب شاخص با پیت‌های چوبی و وضعیت اراضی پس ازجنگلتراشی و زه‌کشی. (الف) رواناب حاوی مواد غذایی از اراضی مرتفع پیرامونی سبب تقویت رشد گیاهان آبزی به‌خصوص در حاشیه آبگیرها می‌شود. (ب و ج) مواد آلی کف آبگیرها را می‌پوشاند (د) نهایتاً درختان تمام منطقه را می‌پوشانند. (و) اگر اراضی جنگلتراشی شود و شبکه زه‌کشی نصب گردد به خاک‌های ماک با بیشترین توان تولیدی تبدیل خواهد شد.

---

[1] - Fibric
[2] - Muck
[3] - Sapric
[4] - Hemic

۲-۱۳ اقلیم

اقلیم شاید در بین ٤ عامل مؤثر بر روی مواد مادری مؤثرترین باشد، زیرا سرشت و سرعت هوادیدگی احتمالی را در مناطق وسیع جغرافیایی مشخص می‌کند. متغیرین اصلی اقلیم مؤثر در تشکیل خاک عبارتند از بارندگی مؤثر (تابلو ۱-۲ را مشاهده کنید) و دما که هر دو در میزان فرایندهای شیمیایی، فیزیکی و زیستی مؤثر می‌باشند.

بارندگی مؤثر

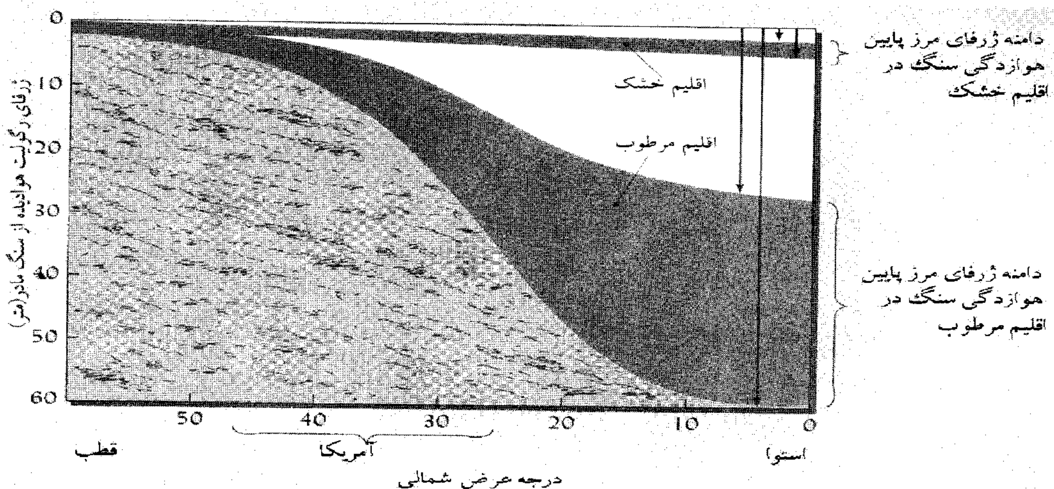
قبلاً مشاهده کردیم (بخش ۳-۲) که آب برای واکنش‌های عمده شیمیایی اساسی می‌باشد. برای مؤثربودن در تشکیل خاک آب باید در رگولیت نفوذ کند هرچه عمق انتشار آب بیشتر باشد ژرفای هوادیدگی و تشکیل خاک بیشتر خواهد بود. آب اضافی که در داخل خاک نفوذ عمقی داشته باشد سبب انتقال مواد محلول و معلق از لایه‌های بالایی به لایه‌های زیرین خواهد شد. این آب ممکن‌است مواد محلول در آب زه‌کشی را نیز خارج کند. بنابراین، نفوذ عمقی آب سبب تقویت واکنش‌های هوادیدگی و تفکیک افق‌های خاک می‌شود.

کمبود آب همچنین عامل مهم در تعیین خصوصیات خاک‌های مناطق خشک است. نمکهای محلول از این خاک‌ها شسته نمی‌شوند و در بعضی موارد مقدار آن‌ها چنان افزایش می‌یابد که مانع رشد نباتات شود. خاکرخ در مناطق خشک و نیمه‌خشک تراکم کربناتها و انواع خاص رس‌های قابل‌انبساط را میسر سازد.

دما

با افزایش هر ۱۰ درجه دما برحسب سانتی‌گراد میزان واکنش‌های شیمی-زیستی افزون بر دو برابر می‌شود. دما و رطوبت هر دو در میزان ماده‌ی آلی خاک از طریق اثر آن‌ها در تعادل بین رشد نبات و تجزیه میکروبی مؤثر می‌باشند (شکل ۱۵-۱۲ را مشاهده کنید). اگر دمای مناسب و میزان آب کافی در خاکرخ همزمان موجود باشند، فرایند هوادیدگی، آبشویی و رشد گیاهی به بیشینه مقدار خواهد رسید. کمترین میزان توسعه خاکرخ که مشخصه‌ی مناطق سرد است با خاکرخ‌های هوادیده‌ی خیلی عمیق که مختص مناطق گرم مرطوب است به‌شدت در تعارض می‌باشد (شکل ۲۴-۲).

اقلیم همچنین در پوشش گیاهی طبیعی موثر است. اقالیم مرطوب مناسب رشد درختان می‌باشد (شکل ۲۵-۲). برعکس گیاهان چمنی پوشش طبیعی غالب در مناطق نیمه مرطوب و نیمه‌خشک است، درحالی‌که بوته‌ها و خارها از انواع مختلف در مناطق خشک غالب می‌باشند. بنابراین اقلیم تأثیر خود را از طریق دومین عامل تشکیل خاک، یعنی موجودات زنده اعمال می‌کند.



شکل ۲۴-۲ تشریح اثرات کلی دو متغیر اقلیمی، دما و رطوبت (بارندگی) بر عمق هوادیدگی رگولیت در سنگ بستر. منطقه سایه خورده، بیانگر دامنه‌ی توسعه‌ی رگولیت است. در اقالیم سرد (منطقه‌ی قطبی) رگولیت هم در تحت شرایط مرطوب و هم خشک کم عمق می‌باشد. در عرض‌های پایین (دمای بالاتر) عمق رگولیت در مناطق مرطوب به تندی افزایش می‌یابد اما در مناطق خشک کمتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در اقالیم گرمسیری مرطوب عمق رگولیت ممکن‌است ۵۰ متر یا بیشتر باشد. پیکان‌های قایم بیانگر عمق هوادیدگی در نزدیکی استوا می‌باشد. به‌خاطر بیاورید که ممکن‌است ژرفای خاک به اندازه‌ی ژرفای رگولیت نباشد.

تابلو ۱-۲ باران مؤثر برای تشکیل خاک

آب حاصل از بارندگی و ذوب برف نیاز اصلی برای هوادیدگی مواد مادری و تکامل خاک است. برای ارتقای تکامل خاک آب نباید تنها داخل خاکرخ‌شده و در در واکنش‌های هوادیدگی شرکت کند، بلکه باید داخل خاکرخ نفوذ عمقی داشته و مواد محلول حاصل از هوادیدگی را منتقل کند.

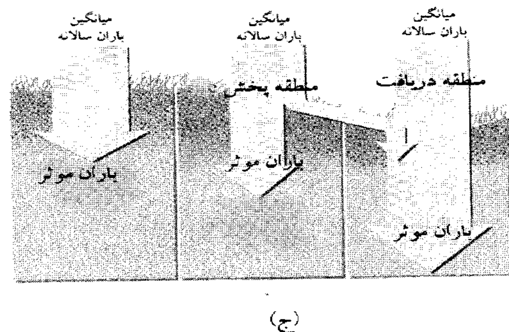
اجازه دهید منطقه‌ای را که ۶۰۰ میلیمتر بارندگی سالانه دریافت می‌دارد مورد مطالعه قرار دهیم. اندازه زهاب از داخل خاک نه‌تنها به‌وسیله‌ی کل بارندگی سالانه تعیین می‌شود بلکه حداقل ٤ عامل دیگر نیز در آن مؤثر می‌باشند.

الف ـ توزیع فصلی بارندگی : ۶۰۰ میلیمتر بارندگی به‌طور یکنواخت در طول سال با حدود ۵۰ میلی‌متر در هر ماه توزیع یافته است کمتر سبب آبشویی خاکرخ و یا فرسایش در مقایسه باهمان بارندگی می‌باشد که میزان ۱۰۰ میلیمتر در ماه در طول ٦ ماه در آن نازل می‌گردد.

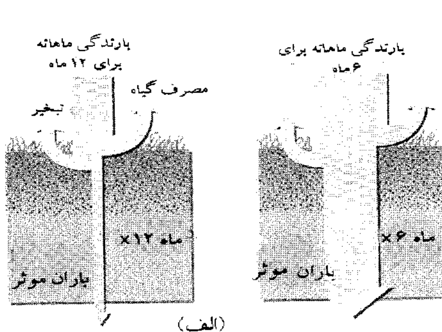
ب ـ دما و تبخیر : در یک اقلیم گرم میزان تبخیر از خاک‌ها و پوشش گیاهی به‌مراتب بیشتر از اقلیمی خنک‌تر است. بنابراین در اقلیم گرم مقدار بسیار کمی از ۶۰۰ میلیمتر بارندگی سالانه برای نفوذ عمقی و آبشویی قابل استفاده می‌باشد، چه اکثر و یا تمام بارندگی بلافاصله پس از بارش بر روی زمین تبخیر می‌شوند. بنابراین ۶۰۰ میلیمتر بارندگی در اقلیم خنک سبب سشتشوی بیشتر و تکامل زیادتر خاکرخ در مقایسه با اقلیم گرمتر می‌شود. بر همین روال بارندگیهای ملایم زمستانه (مانند کالیفرنیا) در آبشویی خاک از همان مقدار بارندگی که در تابستان تمرکز یافته‌است (منطقه دشت‌های بزرگ) بیشتر مؤثر می‌باشند.

ج ـ پستی‌وبلندی : بارانی که بر روی یک زمین پر شیب نازل می‌شود چنان به‌طرف پایین شیب جاری می‌شود که بخش کوچکی به‌داخل خاک در محل بارش نفوذ می‌کند. بنابراین، در یک شیب مسطح و یا مقعر که همان مقدار باران را درمقایسه با یک شیب تند دریافت می‌دارند میزان آبشویی و نفوذ عمقی بیشتر صورت می‌گیرد. می‌توان گفت که باران مؤثر در یک زمین تراز بیشتر از یک شیب تند است. شیب مقعر بیشترین باران مؤثر را دریافت می‌دارد زیرا علاوه بر باران مستقیم، مقداری از رواناب اراضی شیب‌دار مجاور را نیز دریافت می‌دارد.

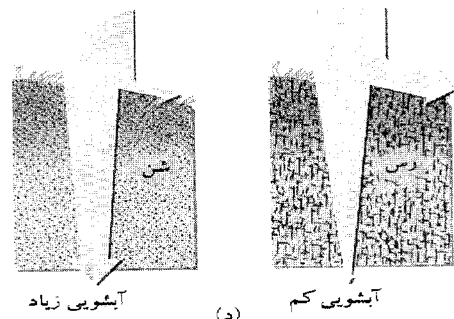
د ـ تراوایی : درصورتی‌که شرایط سه‌گانه فوق‌الذکر یکسان باشند میزان آب بیشتری از داخل یک خاکرخ با خاک شنی درشت درمقایسه با یک خاک رسی سفت عبور کرده و عناصر را آبشویی می‌کند. بنابراین، می‌توان گفت خاکرخ دارای خاک‌های شنی بارندگی مؤثر بیشتری را دریافت داشته و در آن‌ها تکامل سریع‌تر خاک قابل انتظار است.



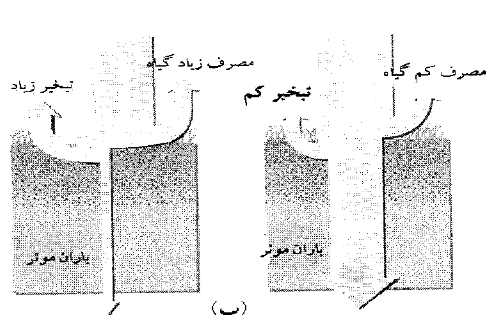
(ج)



(الف)



(د)

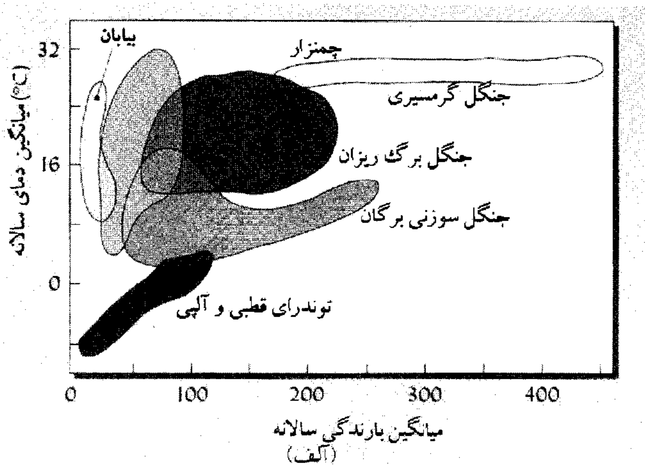


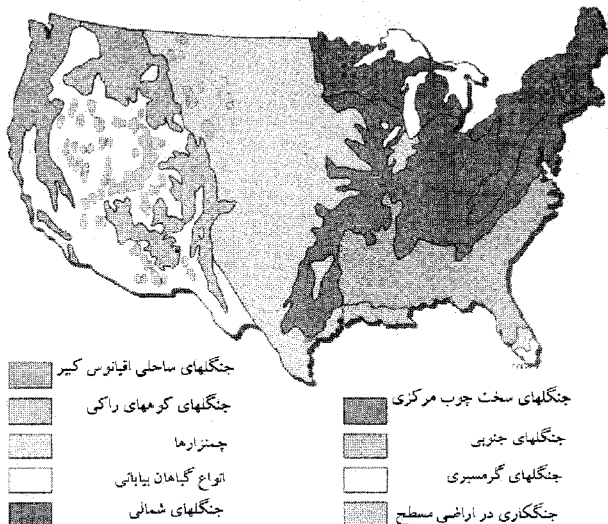
(ب)

با ملاحظه خاک‌های مشابه از نظر رژیم حرارتی، مواد مادری، پستی‌وبلندی و زمان افزایش بارندگی مؤثر سالانه معمولاً سبب افزایش میزان رس، ماده‌ی آلی، اسیدیته شدیدتر و نسبت اندک $^{Si}/_{Al}$ (شاخص کانی‌های خیلی هوازده، جدول ۳-۲ را مشاهده کنید) می‌شود. هرچند در بسیاری جاها، اقالیمی را در دوره‌های زمین‌شناسی گذشته شاهد بوده است که بهیچ‌وجه مشابهتی با اقلیم امروزی ندارد. این واقعیت در بسیاری از اراضی قدیمی خاص در مناطق خشک به‌روشنی دیده می‌شود. در این اراضی، خاک‌های شدیداً آبشویی‌شده و هوادیده شاهد و نشانه‌ی اقلیم گرم و مرطوب غالب در هزاران سال قبل در آنجا می‌باشد.

۲-۱۴ موجودات زنده

جانداران خاک نقش عمده‌ای در تمایز خاکرخ‌ها ایفا می‌کنند. تراکم مواد آلی، هوادیدگی زیست‌شیمی، مخلوط‌شدن نیمرخ، چرخه‌ی عناصر غذایی و ثبات ساختمانی همگی براثر فعالیت جانداران در خاک تشدید می‌شود. پوشش گیاهی سبب کاهش میزان فرسایش طبیعی و بنابراین کندشدن میزان برداشت مواد معدنی سطحی می‌شود. اسیدهای آلی تولیدشده به‌وسیله‌ی انواع خاص لاشبرگ سبب محلول‌شدن آهن و آلومینیوم براثر همتافت آن‌ها گردیده و باعث حرکت رو به پایین این فلزات و تراکم آن‌ها در افق B می‌گردد.

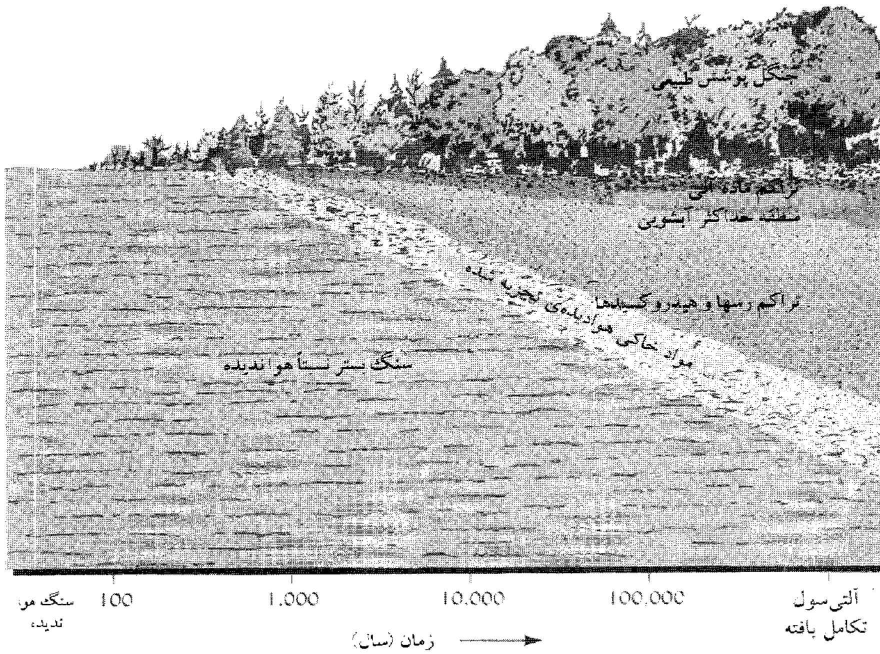




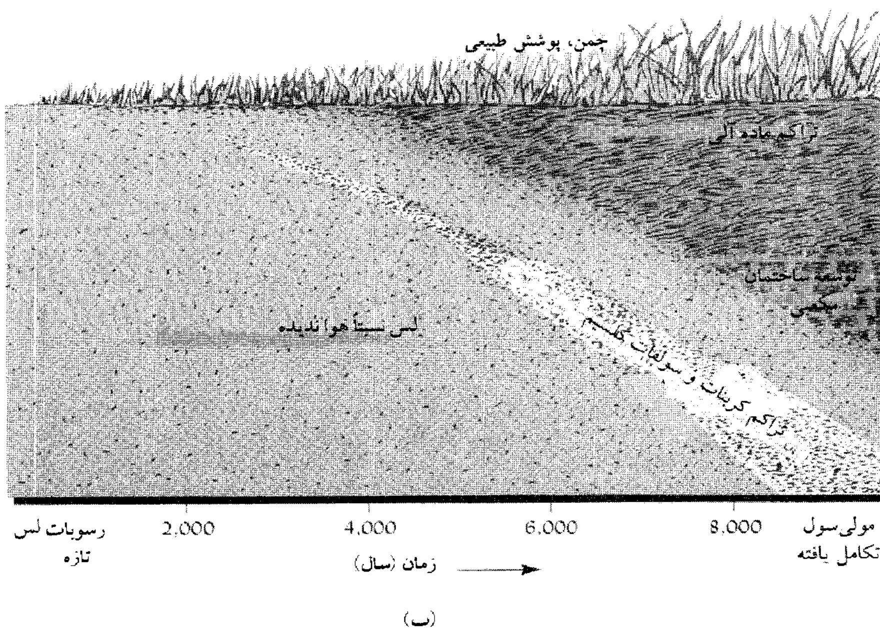
شکل ۲-۲۵ اثر اقلیم بر پوشش گیاهی (الف) رابطه کلی بین دمای متوسط سالانه، بارندگی و نوع پوشش گیاهی (ب) انواع کلی پوشش گیاهی در ایالات متحده‌ی آمریکا.

نقش پوشش گیاهی طبیعی

تکامل افق A : اثر پوشش گیاهی در خاک‌سازی می‌تواند با مقایسه خاک‌های تشکیل‌شده در زیرپوشش جنگل و علف‌زار در نزدیکی مرز بین این دو بوم‌سامان مشخص گردد (شکل ۲۶-۲). در چمن‌زار، بیشتر ماده‌ی آلی اضافه‌شده به خاک از سامانه‌ی ریشه فیبری عمیق ناشی می‌شود. برعکس برگ درختان خزان کرده بر کف جنگل منبع اصلی ماده‌ی آلی در جنگل می‌باشد. درنتیجه، خاک‌ها در زیر علف‌زار معمولاً دارای افق ضخیم‌تر A با توزیع عمیق‌تر ماده‌ی آلی درمقایسه با خاک‌های جنگلی می‌باشند که به‌طور خاص اکثر ماده‌ی آلی خود را در کف جنگل و افق نازک A ذخیره کرده‌اند. افق روشن آبشویی‌شده E که به‌طور شاخص در زیر افق O و یا A در خاک‌های جنگلی یافت می‌شود در خاک‌های چمن‌زار وجود ندارد. پایداری ساختمانی خاکدانه‌های معدنی در خاک‌های چمن‌زار بیشتر از خاک‌های جنگلی است.



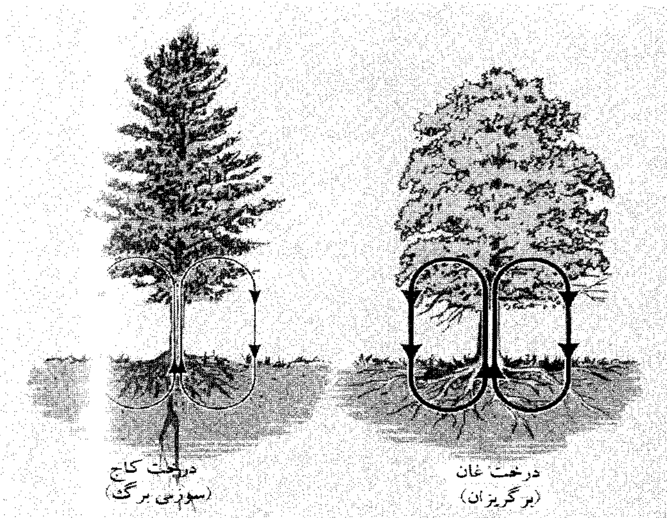
(الف)



(ب)

شکل ۲۶-۲ چگونه دو خاکرخ در مناطق اقلیمی با پوشش طبیعی مربوطه چه جنگل (الف) و چه مرتع(ب) تکامل یافته‌اند تراکم ماده‌ی آلی در افق‌های فوقانی در طول زمان انجام گرفته و مقدار و چگونگی توزیع آن وابسته به نوع پوشش گیاهی موجود می‌باشد. تراکم رس و اکسیدهای آهن با ساختمانهای مشخص در افق‌های پایین توسعه می‌یابد. محصولات نهایی از مواد اولیه‌ی خاکی که از آن تکامل یافته‌اند به‌طور بارز متفاوت می‌باشد توجه کنید که مقیاس زمانی در تکامل خاک برای دو ماده مادری به‌طور چشمگیری متفاوت می‌باشد.

چرخه‌ی کاتیون‌ها به‌وسیله‌ی درختان: توانایی پوشش طبیعی برای جذب عناصر غذایی به‌طور زیادی در خصوصیات خاک ایجادشده به‌خصوص اسیدیته آن مؤثر است. لاشبرگ حاصل از درختان سوزنی‌برگ (کاج‌ها و نرادها) مقادیر اندکی از کلسیم، منیزیم و پتاسیم را درمقایسه با لاشبرگ حاصل از بعضی از درختان خزان‌کننده (راش، بلوط و افرا) که مقادیر زیادی از این کاتیون‌های فلزی را جذب و ذخیره می‌کنند در چرخه قرار می‌دهند (شکل ۲۷-۲) از آنجاکه ریشه درختان سوزنی‌برگ امکان می‌دهند که مقدار زیادی از این کاتیون‌های بازی براثر آبشویی از دست بروند، اسیدیته خاک در رویشگاه اکثر سوزنی‌برگان درمقایسه با درختان خزان‌کننده به‌طور قوی‌تر ایجاد می‌شود. برگ‌های سوزنی اسیدی صمغ‌دار تمایل دارند که در افق O با لایه‌های مشخص از مواد فیبریک (تجزیه‌نشده) و ساپریک (به‌شدت تجزیه‌شده) تراکم یابند. برگ‌های درختان برگ‌ریزان که با سهولت تجزیه می‌شوند معمولاً یک بستر کم‌عمق جنگلی بدون لایه مشخص ایجاد می‌کنند.



شکل ۲۷-۲ چرخه‌ی عناصر غذایی یک عامل مهم در تعیین رابطه بین پوشش گیاهی و خاک تکامل‌یافته مربوطه می‌باشد. اگر بقایای حاصل از پوشش گیاهی از نظر کاتیون‌های بازی فقیر باشد مانند اکثر سوزنی‌برگان مانند گونه‌های کاج (چپ عکس) شرایط هوادیدگی اسیدی غالب خواهد بود . پس‌مانده‌های گیاهی غنی از کاتیون‌های بازی مانند بسیاری از درختان برگریزان از جمله راش اروپایی تمایل دارند که اسیدها را خنثی کرده و بنابراین شرایطی مطلوب برای هوادیدگی نسبتاً اسیدی و یا خنثی فراهم آورند.

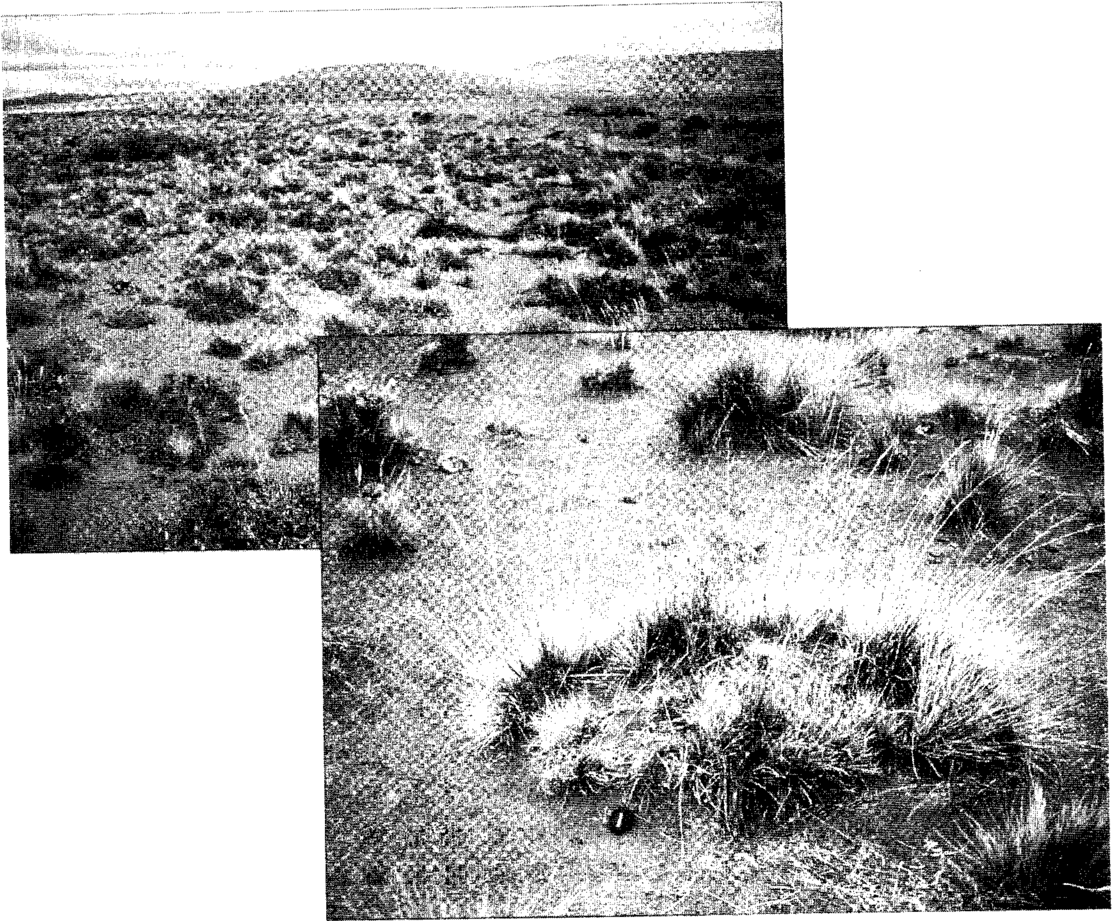
غیرهمگونی در مراتع : در مراتع خشک و نیمه‌خشک، رقابت برای آب محدود اجازه نمی‌دهد که پوشش گیاهی چنان متراکم باشد که سطح خاک را به‌طور کامل پوشش دهد و شامل بوته‌های پراکنده و یا گیاهان چمنی کپه‌ای با فضای باز در تاج پوشش است که در زیر آنها خاک عریان بوده و یا به‌طور نسبی به‌وسیله‌ی لاشبرگ پوشیده شده‌است. پوشش گیاهی با پراکندگی زیاد خصوصیات خاک را از راه‌های مختلف تغییر می‌دهد. تاج پوشش گیاهان گرد و غبار بادرفت را، که اغلب به‌طور نسبی از لای و رس غنی است بدام می‌اندازد. ریشه عناصر غذایی را مانند ازت، فسفر، پتاسیم و گوگرد در فضای بین بوته‌ها جمع آوری می‌کند. این عناصر غذایی بعداً اغلب همراه با لاشبرگ در زیر تاج پوشش ته‌نشین می‌شود.

تجزیه‌ی لاشبرگ سبب اضافه‌شدن اسیدهای آلی، و درنتیجه پایین آمدن pH خاک و تقویت هوادیدگی کانی‌ها می‌شود. با پ... ت زمان باروری مناطق لخت بین بوته‌ها کاهش‌یافته و ممکن‌است سطح آن‌ها با فقیرشدن و نامطلوب‌گشتن برای استقرار پوشش گیاهی ...ش یابد. همزمان، پوشش گیاهی موجود سبب ایجاد جزیره‌های بارور، افق ضخیم‌تر A و کربنات کلسیم آبشویی‌شده به اعماق ژرف‌تر ... ود (شکل ۲۸-۲ را مشاهده کنید).

نقش جانوران

نقش جانوران در فرایند خاک‌سازی نباید نادیده گرفته شود. برای مثال حیوانات بزرگ مانند موش حفار، موش کور و سگ علف‌زار در طبقات پایین خاک حفاری کرده و سبب بالاآمدن مواد اعماق به سطح می‌شوند. دالان‌های لانه‌ی آنان اغلب به سطح خاک باز می‌شود و سبب تقویت حرکت آب و هوا به لایه‌های پایین می‌گردد. در نقاط موضعی آن‌ها سبب مخلوط‌شدن لایه‌های پایین با لایه‌های بالا با ایجاد دالان‌های زیرزمینی و پرکردن بعدی آن می‌شوند. برای مثال، جمعیت زیاد سگ‌های علف‌زار ممکن‌است یک متر سطح خاک را در طول چند هزار سال به‌طور کامل زیرورو کند. حفره‌های ایجادشده به‌وسیله‌ی حیوانات در افق‌های پایین سبب ایجاد چهره‌های در خاکرخ می‌شود که به آن کروتووینا[1] می‌گویند (شکل ۲۹-۲).

[1] - Crotovina



شکل ۲۸-۲ گیاهان چمنی بالشتکی در این مراتع نیمه‌خشک در منطقه پاتاکونیا[1] آرژانتین سبب ایجاد جزیره‌ای از خاک‌ها با باروری بالا و افق A ضخیم می‌باشد. یک درپوش عدسی‌دوربین در لبه‌ی یکی‌از این جزیره‌ها به‌صورت مقیاس عمل‌کرده و ضخامت افزایش‌یافته خاک را در زیر تاج‌پوشش گیاهان نشان می‌دهد. این چنین غیرهمگونی خاک درمقیاس کوچک درارتباط با خاک وقتی محدودیت آب خاک از پوشش کامل نبات جلوگیری می‌کند معمول می‌باشد.

کرمهای خاکی : کرمهای خاکی و سایر حیوانات کوچک سبب مخلوط‌کردن مقدار قابل توجهی خاک هنگام حفاری در داخل آن گردیده، و به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای در تشکیل خاک مؤثر می‌باشند. کرمهای خاکی ذرات خاک و مواد آلی را بلعیده و سبب قابل استفاده کردن عناصر غذایی مورد نیاز نبات در موادی که از بدن آن‌ها می‌گذرد، می‌گردند. آن‌ها سبب هوادارشدن خاک، بهم‌خوردن و افزایش پایداری خاکدانه‌ها و تضمین نفوذپذیری بهتر خاک می‌شوند. مورچه‌ها و موریانه‌ها در ساختن لانه و تپه‌ها سبب انتقال خاک از یک افق به افق دیگر می‌گردند. به‌طور کلی، فعالیت‌های مخلوط‌کردن حیوانات که بعضی مواقع به آن گردش خاک[2] گفته می‌شود سبب می‌گردد که تأثیر سایر فرایندهای خاک‌سازی در تفکیک و ایجاد اختلاف در افق‌ها از بین رفته و یا بی‌اثر گردد.

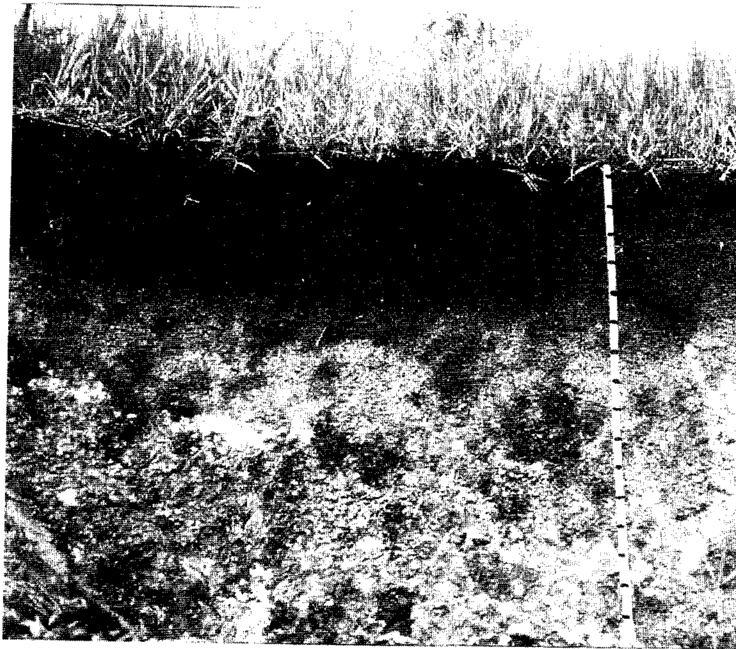
تأثیر انسان : فعالیت‌های انسان نیز در خاک‌سازی مؤثر است. برای نمونه اعتقاد بر این است که بومیان آمریکا به‌طور مرتب آتش‌زدن را برای حفظ اراضی بزرگ چمن‌زار در ایالت‌های ایندیانا و میشگان انجام می‌دادند. در زمان‌های جدید، تخریب پوشش گیاهی به‌وسیله‌ی انسان (درختان و چمن‌زارها) و خاک‌ورزی متعاقب آن برای تولید محصولات به‌طور شدیدی سبب تغییر خاک‌سازی گردیده است.

همین‌طور، آبیاری خاک در یک منطقه‌ی خشک به‌طور شدیدی در عوامل خاک‌سازی مؤثر است. کوددادن و مصرف آهک در خاک‌ها با باروری اندک نیز همین کار را انجام می‌دهد. در حفاری‌های سطحی و شهرک‌سازی‌ها امروزه بولدزرها ممکن‌است همانند یخچال‌های کهن

---

[1] - Patagonia
[2] - Pedoturbation

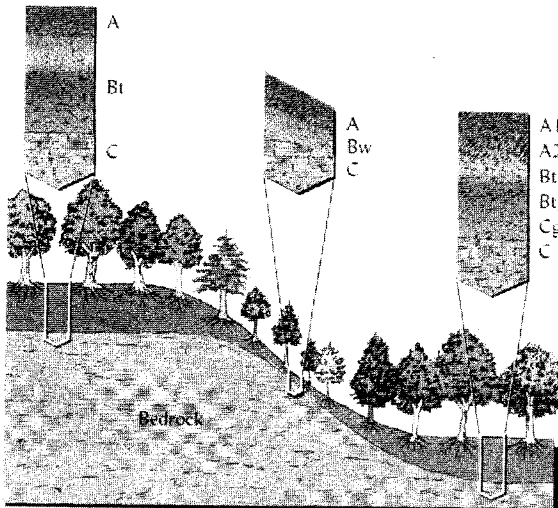
بر روی خاک تأثیرگذار باشند. آن‌ها سبب صاف‌شدن و مخلوط‌گشتن افق‌های خاک‌شده و عقربه‌ی ساعت خاک‌سازی را به روی عدد صفر باز می‌گردانند.



شکل ۲۹ -۲ حفره‌های متروکه‌ی حیوانات در یک افق که از خاک افق‌های دیگر پرشده است کروتووینا نام دارد. ازاین خاک چمن‌زار ایلینوی مواد آلی تیره غنی از افق A حفره‌های قدیمی سگ علف‌زار را که تا افق B ادامه دارد پر کرده است شکل تیره حلقوی در خاک تحت‌الارض مشخص می‌سازد که دیواره خاکرخ کجا این حفره‌هارا قطع کرده است مقیاس هر ۱۰ سانتی‌متر مشخص‌شده است.

۲-۱۵ پستی‌وبلندی

پستی‌وبلندی در ارتباط با شکل ظاهری سطح زمین بوده و با واژه‌هایی در ارتباط با اختلاف ارتفاع، شیب و موقعیت در زمین‌نما مورد تشریح قرار می‌گیرد و یا به‌عبارت دیگر طرز استقرار زمین است. پستی‌وبلندی می‌تواند سبب تسریع و یا کندی عوامل اقلیمی گردد. (تابلو ۱-۲ را مشاهده کنید) شیب‌های تند معمولاً سبب فرسایش لایه سطحی گردیده و امکان نفوذ کمتری به آب باران قبل از بروز رواناب می‌دهد، بنابراین، از تشکیل خاک به‌میزان خیلی بیشتر از تخریب خاک ممانعت می‌شود. در مناطق نیمه‌خشک، رطوبت مؤثر کمتر در شیب‌های تند سبب ایجاد پوشش بسیار پراکنده و کمتر متنوع می‌شود. بنابراین خاک‌ها در روی اراضی پر شیب دارای خاکرخ‌های نسبتاً کم عمق با تفکیک ضعیف افق‌ها (شکل ۳۰-۲) درمقایسه با خاک‌های مجاور بر روی شیب‌های آرام می‌باشد.





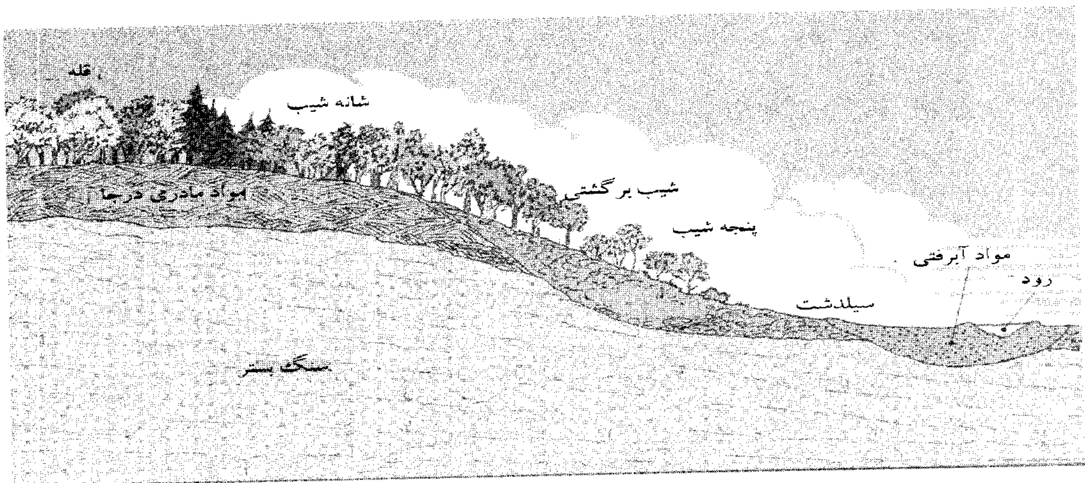
شکل ۳۰-۲ پستی‌وبلندی در خصوصیات خاک، از جمله عمق تأثیرگذار است نمودار سمت چپ نشان‌دهنده‌ی اثر شیب بر خصوصیات خاکرخ و عمق خاک است که در آن درختان جنگلی پوشش طبیعی می‌باشند. عکس سمت راست همان اصول را در پوشش مرتعی تشریح می‌کند. اغلب یک تغییر نسبتاً کوچک در شیب اثر بسیاربزرگی در تکامل خاک دارد. بخش ۱۸-۲ را برای توضیح علایم افق‌ها مشاهده کنید.

تعامل پستی‌وبلندی با پوشش گیاهی : پستی‌وبلندی اغلب برای تأثیر بر روی خاک‌سازی با پوشش گیاهی در واکنش متقابل می‌باشد. در منطقه انتقالی بین جنگل و مرتع، معمولاً درختان در گودیهای کوچکی که خاک آن‌ها معمولاً مرطوب‌تر از اراضی بالاتر می‌باشد، استقرار یافته‌اند، همان‌طورکه انتظار می‌رود طبیعت خاک در گودیها کاملاً از اراضی بالادست آن متفاوت است. اگر آب در بخشی از سال و یا در تمام آن در گودیها باقی بماند، اقلیم در تنظیم تکامل خاک کمتر مؤثر است. اراضی پست ممکن‌است سبب ایجاد مرداب‌های پیت و خاک‌های آلی گردند (شکل ۲۳-۲ را مطالعه کنید).

جبهه شیب: پستی‌وبلندی در جذب انرژی آفتاب در یک چشم‌انداز خاص مؤثر است. در نیمکره‌ی شمالی شیب‌های رو به جنوب بیشتر بر اشعه آفتاب عمود بوده و معمولاً گرمتر و درنتیجه دارای رطوبت کمتری نسبت به شیب‌های رو به شمال مجاور خود می‌باشند (شکل ۲۲-۷ را مشاهده کنید). بنابراین خاک‌ها بروی شیب‌های جنوبی احتمالاً دارای ماده‌ی آلی کمتر بوده و عمیقاً هوازده نمی‌باشند.

تجمع نمک: در مناطق خشک و نیمه‌خشک پستی‌وبلندی در تجمع نمکهای محلول مؤثر است. نمکهای محلول از خاک‌های مناطق بلند اطراف از طریق سطح خاک و سطح آب زیرزمینی به مناطق پست حرکت می‌کنند. در این نقاط نمکها در اثر تبخیر آب بالاآمده و در مقادیر سمی برای نباتات تجمع می‌یابند.

تعامل با مواد مادری : پستی‌وبلندی همچنین می‌تواند با مواد مادری در تعامل باشد برای مثال در مناطق با سنگ‌های رسوبی مورب قله‌ها معمولاً شامل سنگ مقاوم بوده درصورتی‌که دره‌ها به‌وسیله‌ی سنگ آهک قابل هوازدگی اشغال شده است. در بسیاری از اراضی پستی‌وبلندی منعکس‌کننده‌ی توزیع مواد مادری در جا، کوه‌رفت و آبرفت می‌باشد. مواد مادری در جا در بالاترین بخش شیب قرار داشته، و مواد مادری کوه‌رفت بخش پایین شیب را پوشانده و آبرفت کف دره‌ها را پر می‌کند.(شکل ۳۱-۲)



شکل ۳۱-۲ تعامل بین پستی‌وبلندی و مواد مادری به‌عنوان عامل خاک‌سازی. خاک‌ها روی قله، پنجه شیب، سیلدشت در این چشم‌انداز شاخص از مواد مادری در جا و کوه‌رفت و آبرفت تشکیل‌شده است.

۱۶-۲ زمان

فرایندهای تشکیل خاک برای نشان‌دادن اثرات خود نیازمند زمان می‌باشند. عقربه ساعت خاک‌سازی وقتی شروع به حرکت می‌کند که یک لغزش زمین سنگ جدیدی را در سطح خاک در معرض محیط هوادیدگی قرار دهد، یک رودخانه طغیانی یک لایه جدید از ته‌نشست‌ها را در سیلدشت خود به جای گذارد، یک یخچال طبیعی ذوب شود و بار ته‌نشست مواد معدنی خود را به‌زمین می‌گذارد و یا وقتی یک بولدوزر دریک زمین‌نما خاکبرداری و خاکریزی کرده و آن‌را برای ساختمان‌سازی ویا مرمت معدن تسطیح کند.

نرخ هوازدگی : وقتی سایر عوامل خاک‌سازی مطلوب می‌باشند، ممکن‌است ماده آلی برای تشکیل افق A تیره در یک و یا دو دهه تجمع یابد. در بعضی موارد یک افق B آغازین در خاک‌های نخاله معدن در مناطق مرطوب در طی ۴۰ سال قابل تمیز است. هرچند تشکیل یک افق B با رنگ و ساختمان تغییریافته معمولاً نیازمند قرنها زمان است. تراکم رس‌های سیلیکاتی معمولاً پس از هزاران سال قابل تجمع خواهد بود. یک خاک تکامل‌یافته عمیقاً هوازده ممکن‌است نیازمند صدها و یا هزارها سال برای تشکیل باشد.

وقتی از یک خاک جوان و یا تکامل‌یافته صحبت می‌کنیم خیلی به سن خاک برحسب سال توجه نداشته و میزان هوادیدگی و تکامل خاکرخ موردنظر می‌باشد. زمان با سایر عوامل تشکیل خاک در تعامل می‌باشد در یک اقلیم گرم که بیشتر بارندگی بر روی مواد مادری قابل‌نفوذ غنی از کانی‌های قابل هوادیدگی نازل می‌شود. هوادیدگی و تفکیک افقهای خاک بسیار سریعتر از منطقه‌ای با شیب تند و مواد مادری مقاوم در یک منطقه خشک و سرد به پیش خواهد رفت.

در چند مورد نادر تشکیل خاک چنان سریع‌است که فرایند خاک‌سازی قابل مشاهده بوده و اثر زمان در طول عمر انسان قابل اندازه‌گیری می‌باشد. نمونه‌ها شامل تشکیل سریع افق A در یک آبرفت بارور جوان و تغییرات کانی‌شناسی، رنگ و ساختمان در مواد دارای سولفید است که اول بار در اثر استخراج معدن، زه‌کشی و عملیات لایروبی با هوا مواجه می‌شود.

توالی زمانی[1] : اکثر چهره‌های خاکرخ چنان با کندی تکامل می‌یابند که اندازه‌گیری تغییرات ناشی از زمان در تشکیل آن‌ها امکان‌پذیر نیست. روشهای غیرمستقیم مانند کربن ١٤، وجود سنگواره‌ها و یا اشیاء ساخت انسان برای مشخص ساختن زمان لازم برای تحقق جنبه‌های مختلف خاک‌سازی باید مورد توجه قرار گیرد. در رهیافت دیگر برای مطالعه اثر زمان در تشکیل خاک دانشمندان خاک به توالی زمانی نگاه می‌کنند که عبارتست از مجموعه‌ای از خاک‌ها با خصوصیات یکسان از نظر موجودات زنده، اقلیم، مواد مادری و شیب اما، از نظر طول زمان که مواد در معرض هوادیدگی و خاک‌سازی قرار دارند متفاوت می‌باشند. یک توالی زمانی را می‌توان در بین خاک‌هایی که در پادگانه‌های آبرفتی در زمان‌های مختلف دراثر کندن رودخانه در بستر خود ایجاد کرده‌اند مشاهده کرد. بالاترین پادگانه بیشترین زمان و پادگانه‌ها در سمت پایین کمترین زمان در معرض هوادیدگی و تشکیل خاک قرار گرفته‌اند. خاک‌های واقع در سیلدشت کنونی رودخانه جوان‌ترین بوده و هنوز در معرض افزایش مواد جدید می‌باشند.

تعامل با مواد مادری: مواد مادری در جا معمولاً مدت زمان طولانی‌تری درمقایسه با مواد مادری انتقال‌یافته در معرض خاک‌سازی قرار گرفته‌اند. برای نمونه خاک‌ها در ارتفاعات در قسمت جنوبی شرقی آمریکا مدت زمان طولانی‌تری در مقایسه با خاک‌های مجاور در مناطق پست که از مواد دریایی و آبرفتی تکامل‌یافته‌اند در معرض خاک‌سازی بوده است. خاک‌های تشکیل‌شده بر روی مواد یخرفتی در بخش‌های شمالی آمریکای شمالی، اروپا و آسیا درمقایسه با خاک‌های جنوبی‌تر که ازتسلط یخچال‌ها نجات یافته‌اند معمولاً دارای زمان کمتری برای خاک‌سازی بوده‌اند. کانی‌شناسی و سایر خصوصیات خاک‌های جوانتر در مناطق یخچالی معمولاً بسیار شبیه مواد مادری خود درمقایسه با خاک‌های پیرتر در مناطق غیریخچالی می‌باشد. اما این مقایسه‌ها غامض می‌باشند، زیرا اقلیم، پوشش گیاهی و کانی‌شناسی مواد مادری معمولاً در بین خاک‌های یخچالی و غیریخچالی متفاوت است.

مورد آخر مجدداً بر این تأکید دارد که ٥ عامل مؤثر در تشکیل خاک معمولاً همزمان و در تعامل با همدیگر عمل می‌کنند بنابراین، پوشش گیاهی در رابطه با اقلیم تغییر کرده و مواد مادری ممکن‌است در ارتباط با موقعیت پستی‌وبلندی باشد که آن نیز ممکن‌است در پوشش گیاهی مؤثر باشد. ارتباط داخلی این عوامل مبارزه‌ای برای کسانی فراهم می‌کند که دوست دارند بدانند که در واقع چگونه یک خاک تشکیل‌شده است و برآورد کنند چه خصوصیاتی از خاک را در یک محیط مشخص باید انتظار داشت.

با درنظرداشتن این مطالب در ذهن، توجه خود را بر فرایندهایی که سبب تغییر مواد مادری به خاک می‌شود معطوف می‌داریم، فرایندهایی که تحت تأثیر ٥ عامل مهم تشکیل خاک است که هم اکنون آن‌ها را تشریح کردیم.

۲-۱۷ خاک‌سازی در عمل

تراکم رگولیت براثر تخریب سنگ بستر و رسوبگذاری (آب، باد، یخ و ...) مواد ناپیوسته زمین شناخت ممکن‌است مقدم و یا بسیار محتمل‌تر همزمان با تکامل افق‌های جداگانه خاکرخ انجام گیرد. در طول تشکیل خاک (تکوین خاک) از مواد مادری، رگولیت دچار تغییرات بسیار زیادی می‌شود.

چهار فرایند گسترده تکوین خاک

تکوین خاک به‌وسیله‌ی مجموعه‌ای از تغییرات خاص که می‌توانند در چهار فرایند گسترده گروه بندی شوند (شکل ۳۲-۲) انجام می‌پذیرد.

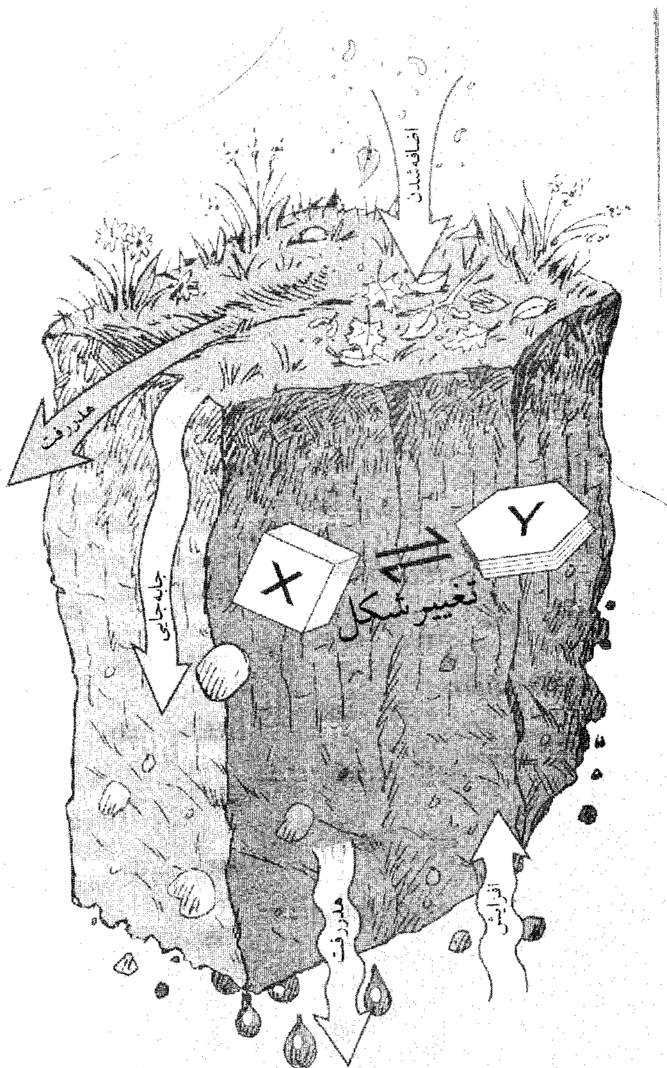
۱- تغییرشکل[2] مانند هوادیدگی کانی‌ها و تخریب ماده‌ی آلی که در طی آن اجزاء تشکیل دهنده‌ی خاک تغییریافته و یا از بین رفته و سایر

---

[1] -Chronosequence
[2] - Transformation

اجزای ساخته می‌شوند. ۲- جابه‌جایی[1] و یا حرکت مواد آلی و معدنی از یک افق در بالا وپایین به افق دیگر است. مواد عمدتاً بـه‌وسیله‌ی آب تغییرمکانیافته اما جابه‌جایی به‌وسیله‌ی جانداران نیز انجام می‌گیرد.۳- افزایش[2] موادی به خاکرخ درحال تکامل از منـابع خـارج ماننـد ماده‌ی آلی از برگ‌ها، گردوغبار از نیوار و یا نمکهای محلول از آب زیرزمینی می‌باشد. ٤- هدررفت[3] مواد از خاکرخ براثر آبشویی داخلـی، فرسایش سطحی و یا سایر اشکال حذف و هدررفت مواد می‌باشد، تغییرشکل و جابه‌جایی اغلب سبب تراکم مواد در افق خاص می‌شود.

این فرایندهای تکوین خاک، که تحت تأثیر عوامل محیطی که قبلاً تشریح‌شده‌اند عمل می‌کنند. چهارچوب منطقی برای فهم رابطه‌ی بین خاک‌های خاص و زمین‌نما و بوم‌زیستی که در آن ایفای نقش می‌کنند ارایه می‌کند. در تجزیه‌وتحلیل این روابط برای یک محـل خـاص از خود بپرسید: چه موادی به این خاک اضافه می‌شود؟ چه نوع تغییرشکل و تغییرمکان در این خاکرخ صورت می‌گیرد؟ چه مـوادی از بـین می‌روند؟ و اقلیم، موجودات، پستی‌وبلندی و مواد مادری در این محل که با گذشت زمان بر فرایندها مؤثر می‌باشند چگونه هستند.



شکل ۳۲-۲ نمایش تصویری افـزایش، هـدررفت، جابه‌جایی و تغییر شکل به‌عنوان فرایندهای اساسی پیش برنده‌ی تکامل خاکرخ

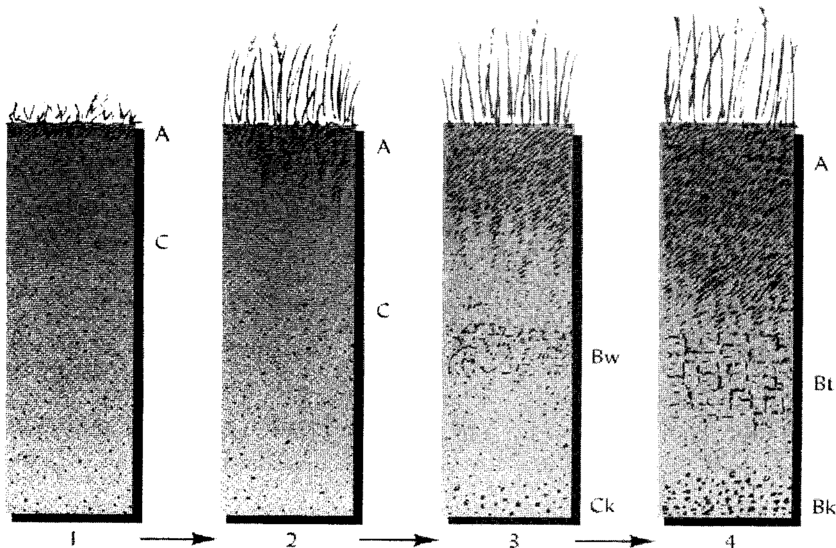
یک مثال ساده

تغییراتی را که ممکن‌است طی تکامل خاک از یک لایه ضخیم نسبتاً یکنواخت مواد مادری خاص لازم است صورت گیرد، مـورد نظـر قرار دهید. گرچه مقداری هوادیدگی فیزیکی و آبشویی برای رشد نبات در یک ماده‌ی مادری خاص لازم است انجام گیرد، تشکیل خاک در

[1] - Translocation
[2] - Addition
[3] - Loss

واقع زمانی شروع می‌شود که گیاهان استقراریافته و شروع به باقی گذاشتن لاشبرگ و ریشه‌ی خود در رو و یا در داخل لایه‌های سطحی مواد مادری کنند. پس‌مانده‌های گیاهی به‌وسیله‌ی موجودات زنده‌ی خاک خردشده و تا حدی تجزیه می‌شوند. این موجودات همچنین سبب ساخت هموس وسایر مواد آلی جدید می‌شوند. تراکم هموس سبب ارتقاء قابلیت استفاده آب و عناصر غذایی می‌شود و یک پس خور مثبت را برای تسریع رشد نبات و تجمع بیشتر هموس فراهم می‌سازد. کرم‌های خاکی، مورچه‌ها، موریانه‌ها و گروهی از حیوانات کوچک‌تر در داخل خاک بوجود آمده و از منابع جدید ماده‌ی آلی زندگی و تغذیه می‌کنند به این خاطر، آن‌ها در داخل خاک حفره ایجاد کرده و پس‌مانده‌های گیاهی را با مواد معدنی سست زیرین مخلوط می‌کنند.

تکامل افق A: حاصل مخلوط‌شدن ماده‌ی آلی - ماده‌ی معدنی در نزدیک سطح خاک است که نسبتاً سریع انجام می‌پذیرد. معمولاً تکامل اولین افق خاک، افق A می‌باشد. این افق دارای رنگ تیره بوده و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن از مواد مادری اصلی متفاوت می‌باشند. ذرات انفرادی خاک در این لایه تحت تأثیر مواد آلی به‌هم چسبیده و خاکدانه‌هایی ایجاد می‌کنند که این لایه را از افق‌های پایین‌تر و از مواد مادری اصلی (شکل ۳۳-۲ را مشاهده کنید) متمایز می‌کند. در اراضی شیب‌دار ممکن‌است فرسایش مقداری مواد از این لایه فوقانی تازه تشکیل‌شده را جدا کرده و تا حدی تکامل افق را کُند کند.



شکل ۳۳-۲ تشریح مراحل تکامل یک خاک فرضی از مواد مادری تقریباً یکنواخت مانند بادنهشته(لس) در یک منطقه‌ی مرطوب معتدل. بخش ۱۸-۲ و جدول ۴-۲ را برای تشریح نماد افق‌ها ملاحظه کنید. در مرحله (۱) لایه‌بندی وجود ندارد. تراکم ماده‌ی آلی در نزدیک سطح خاک از پس‌مانده‌های گیاهی شروع شده است. در مرحله‌ی (۲) فعالیت کرمهای خاکی و تجزیه‌ی ریشه‌ی گیاهان سبب مخلوط‌شدن مواد آلی با چندسانتی‌متر خاک بالایی‌شده است و یُن‌های محلول (مانند Ca^{2+} و $So4^{2+}$) به‌طرف پایین حرکت کرده‌اند. رس‌ها از کانی‌های موجود در لس شروع به تشکیل کرده و در آب نافذ پراکنده‌شده‌اند. در مرحله (۳) ماده‌ی آلی بیشتری تراکم یافته و به طبقات عمیق‌تر خاک حرکت کرده است. آبشویی بیشتر یُن‌های محلول انجام گرفته و رس‌ها شروع به تغییر محل به افق‌های پایین کرده‌اند. یک افق Bw حال بعلت تغییررنگ و تشکیل مقداری ساختمان مکعبی قابل‌تشخیص است، در عمق بیشتر خاکرخ یُن‌های شسته‌شده از لایه‌های بالایی رسوب یافته و یک افق Ck غنی از کربنات کلسیم ایجاد شده است. در مرحله‌ی (٤) مقادیر بیشتری از ماده آلی در طبقات پایین خاکرخ یافت می‌شود. رس‌ها به میزان کافی برای تشکیل افق Bt تراکم یافته و سبب تقویت تشکیل ساختمان مکعبی شکل مشخص می‌شوند. فرایند خاک‌سازی سبب توسعه افق B تا بخش بالایی تراکم کربنات کلسیم‌شده و افق Bk را تشکیل می‌دهد.

آبشویی: اسیدهای آلی که از تجزیه‌ی پس‌مانده‌های گیاهی تشکیل می‌شوند به‌وسیله‌ی آب نافذ به‌داخل خاک می‌رسد و در آنجا سبب تقویت واکنش‌های هوادیدگی می‌شود.آب نافذعمقی حاوی اسید سبب انحلال مواد مختلف شیمیایی وجابه‌جایی آن‌ها (آبشویی) از افق‌های بالایی به پایین‌شده درآنجا ممکن‌است ته‌نشین شده و سبب ایجاد مناطق فقدان ویا تمرکز مواد گردند. مواد حل‌شده شامل یُن‌ها با بار مثبت(کاتیون‌ها مانند Ca^{2+}) و یُن‌ها با بار منفی (آنیونها مانند SO_4^{2-}, CO_3^{-}) می‌باشند که از تخریب کانی‌ها و مواد آلی بدست می‌آیند. در

مناطق خشک و نیمه‌خشک رسوب این یُن‌ها در حداکثر عمق نفوذ آب سبب ایجاد افق‌های غنی از کلیست ($CaCo_3$) وجیبسم ($CaSo_4,2H_2o$) می‌شود.

وقتی بارندگی به اندازه کافی زیاد باشد ممکن‌است بعضی از مواد محلول براثر زه‌کشی به‌طور کامل از خاکرخ حذف گردند، حذف مواد حاصل از هوادیدگی سبب تقویت هوا دیدگی بیشتر می‌شود و خاکرخ به‌طور مرتب اسیدی و از Ca^{2+} و Mg^{2+} و K^{+} تخلیه می‌شود. از طرف دیگر ریشه‌ی عمیق گیاهان درحال رشد ممکن‌است بعضی از این محصولات حاصل هوادیدگی را جذب کرده و از طریق برگ و ریزش شاخ‌وبرگ آن‌ها را مجدداً سطح زمین بازگرداند. بنابراین تا حدی سبب توقف فرایند هوادیدگی اسیدی و تفکیک افق‌ها گردد.

هوادیدگی کانی‌ها : فرایندهای زیست‌شیمی سبب تسریع هوا دیدگی کانی‌های اولیه، تجزیه‌ی آن‌ها و تغییر بعضی برای تشکیل انواع مختلف رس‌های سلیکاتی می‌شود. با تجزیه کانی‌های اولیه محصولات حاصل از تجزیه در ترکیب مجدد کانی‌های جدیدی ایجاد می‌کنند که شامل انواع رس‌های سیلیکاتی و هیدرواکسیدهای آهن و آلومینیوم می‌باشد (شکل ٤-٢).

این کانی‌های رسی جدیداً تشکیل‌شده ممکن‌است در جایی که تشکیل می‌شوند تراکم پیدا کنند و یا ممکن‌است به‌طرف پایین خاکرخ حرکت کرده و در لایه‌های عمیق‌تر متمرکز گردند. با برداشت مواد از یک لایه و تراکم در لایه دیگر، لایه‌های مجاور از یکدیگر متمایز گردیده و افق‌های خاک تشکیل می‌گردند. در مناطق تجمع رس معمولاً وقتی توده رس به‌طور متناوب خشک‌شده و ترک بر می‌دارد واحدهای مکعبی شکل و یا منشوری ساختمان خاک تشکیل می‌شوند (بخش ٧-٤ را مشاهده کنید). با تکامل خاک افق‌های مختلف در داخل خاکرخ معمولاً بیشترشده و از افق‌های دیگر بیشتر متمایزمی‌شوند.

تکوین خاک در طبیعت

تمام لایه‌های متمایز از مواد مختلف که‌در خاکرخ یافت می‌شوند افق‌های تکوینی[1] نیستند که از فرایندهای تکامل خاک ایجاد شده باشند. مواد مادری که از آن‌ها بسیاری از خاک‌ها تکامل می‌یابند *قبل* از شروع تکوین خاک از لایه‌های مختلفی تشکیل شده‌اند. برای مثال یخ‌آبرفت‌ها و یخ‌رفت سطحی(موراین) ممکن‌است از لایه‌های مختلفی از ذرات ریزودرشت تشکیل‌شده که دراثر رخداد جداگانه‌ای ته‌نشین شده باشند. بنابراین در مشخص‌کردن خاک‌ها ما باید نه‌تنها افق‌های تکاملی و خصوصیاتی را که در طول تکوین خاک بوجود می‌آیند مورد تشخیص قرار دهیم بلکه باید لایه‌ها و یا خصوصیاتی که ممکن‌است از مواد مادری به ارث رسیده باشند باید مورد توجه قرار داده شوند.

به‌علاوه ما باید طبیعت پویای خاک‌ها را که افق‌های توارثی آن‌ها درحال تکامل و تغییر مداوم می‌باشند درک کنیم و درنتیجه بدانیم که در بعضی خاک‌ها فرایند تفکیک افقها تازه شروع‌شده، درحالی‌که در خاک‌های دیگر این فرایند کاملاً پیشرفت کرده است.

۱۸-۲ خاکرخ

در هر محل در روی اراضی سطح زمین ترکیب به‌خصوصی از تأثیرات ۵ عامل خاک‌سازی را تجربه کرده است که سبب ایجاد لایه‌های مختلفی (افقها)در هر بخش از زمین‌نما گردیده، و به‌تدریج سبب ایجاد کالبدی طبیعی که خاک نام دارد، خواهد شد. یک خاک در رابطه با توالی این افق‌ها مشخص می‌شود. توالی این افق‌ها در یک نمای قائم خاکرخ نامیده می‌شود. حال توجه خود را به افقهای عمده که نمای قائم خاک را تشکیل می‌دهند و واژه‌هایی که برای تشریح آن‌ها به‌کار می‌روند معطوف خواهیم کرد.

افق‌ها و لایه‌های عمده خاک

۵ افق اصلی در خاک مشخص‌شده‌اند این افق‌ها با استفاده از حروف بزرگ O و A و Eو B وC (شکل ٣٤-٢) مشخص گردیده‌اند. افق‌های ثانوی و یا تفاوت در افق‌های اصلی با استفاده از حروف کوچک معلوم شده‌اند که به‌دنبال حروف بزرگ می‌آیند (مانند Bt، Ap و Oi).

افق‌های O : گروه افق O از افق‌های آلی که معمولاً در بالای خاک‌های معدنی قرار دارند تشکیل‌شده و یا در خاکرخ آلی قرار دارد. آن‌ها از بقایای حاصل از گیاهان و جانوران مرده حاصل می‌شوند. این افق معمولاً در مراتع شبه‌گندمیان یافت نمی‌شود. افق O معمولاً در اراضی جنگلی تشکیل گردیده و معمولاً به اسم افق کف جنگل مشهور می‌باشند. سه افق فرعی O قابل تشخیص می‌شوند که عبارتند از :

---

[1] - Genetic horizon

Oi : افق آلی شامل مواد رشته‌ای(فیبری[1]) حاصل از بقایای گیاهان و جانوران است. اندام‌های گیـ و جانوری (برگ‌ها، سر شاخه‌ها و سوزنها) قابل تشخیص است و مقدار اندکی تجزیه‌شده‌اند (افق Oi به‌عنوان لاشبرگ (۱) و یا L به‌وسیله‌ی بعضی از متخصصین جنگل عنوان می‌شود).

Oe : افق آلی شامل مواد همیک[2]، حاصل از بقایایی است که به‌طور متوسط تجزیه شده‌اند و درصورت مالش بین انگشتان دست هنوز بیشتر مواد فیبری در آن آشکار است. (این افق به‌عنوان افق تخمیرشده[3] و یا F به‌وسیله‌ی بعضی از متخصصین جنگل نامیده می‌شود).

Oa : افق آلی شامل مواد ساپریست[4] حاصل از بقایای مواد کاملاً تجزیه‌شده، صاف، بی‌شکل که فاقد رشته و یا بافت قابل تشخیص می‌باشد. (این افق معادل افق هموسی‌شده[5] و یا افق H به‌وسیله‌ی بعضی از متخصصین جنگل نامیده می‌شود).

افق **A** : این افق فوقانی‌ترین افق معدنی می‌باشد که شامل مخلوطی از مواد آلی تقریباً تجزیه‌شده (هموسی‌شده) بوده که رنگ تیره‌تری از افق‌های تحتانی به خاک می‌دهد. افق A معمولاً دارای بافت درشت‌تر بوده و بعضی یا تمام مواد بافت ریز خود را یا به‌وسیله‌ی جابه‌جایی به افق‌های پایین و یا براثر فرسایش از دست داده است.

افق **E** : افقی که دارای حداکثر مقدار آبشویی و یا ایلوویشن[6] (ex و یا e در لاتین به معنی خارج و **lavere** به معنی آبشویی) رس‌های سیلیکاتی و اکسیدهای آهن و آلومینیوم می‌باشد و ترکیبی از کانی‌های مقاوم مانند کوارتز در اندازه‌ی شن و لای را به‌جای می‌گذارد. افق E معمولاً از نظر رنگ روشن‌تر از افق A در روی آن و یا افق‌های دیگری که در زیر آن قرار دارند می‌باشد. افق E در خاک‌های تکامل‌یافته از جنگل کاملاً معمول بوده اما در خاک‌های تکامل‌یافته از مرتع شبه‌گندمیان به‌ندرت وجود دارد به تابلو ۱۰ و ۱۱ مراجعه کنید.

افق **B** : افق‌های B در زیر یک افق O، Aو یا E تشکیل‌شده و در طول تکوین خاک دچار تغییرات زیادی‌شده است، به‌طوریکه ساختمان ماده‌ی مادری اولیه دیگر قابل تشخیص نیست. در بسیاری از افق‌های B مواد عمدتاً براثر ایلویشن[7] (از کلمه‌ی لاتین **il** بـه معنـی داخـل و **lavere** به معنی آبشویی) در طبقات بالا تمرکز یافته‌اند. در مناطق مرطوب افق B دارای لایه‌هایی با حداکثر تمرکز مواد مانند اکسیدهای آهن و آلومینیوم (افق‌های Bo و B_s)، و رس‌های سیلیکاتی (**Bt**) می‌باشند که بعضی از آن‌ها ممکن‌است از طبقات بالا آبشویی گشته و برخی در محل تشکیل‌شده باشند. این افق‌های B را می‌توان در عمق میانی خاکرخ که در تابلوهای ۱،۱۰ و ۱۱ نشان داده شده‌است به‌خوبی مشاهده کرد. در مناطق خشک و نیمه‌خشک کربنات‌کلسیم و یا سولفات‌کلسیم ممکن‌است در افق B تمرکز یابند (به ترتیب ایجاد افق‌های Bk* و By* کنند).

به افق‌های B در بعضی مواقع به غلط خاک تحت‌الارضی اطلاق می‌شود، واژه‌ای که از دقت لازم برخوردار نیست. در خاک‌ها با افق کم عمق A بخشی از افق B ممکن‌است با لایه شخم مخلوط‌شده و بدین ترتیب بخشی از خاک سطحی را تشکیل دهد. در دیگر خاک‌ها با افق عمیق A، لایه شخم و یا خاک سطحی ممکن‌است فقط بخش فوقانی افق A را شامل بوده و خاک تحت‌الارضی بخش پایین افق A را به‌انضمام افق B شامل گردد این امر ضرورت قایل‌شدن تفاوت را بین واژه‌های محاوره‌ای (خاک رویی و خاک زیری) و واژگان فنی که به‌وسیله‌ی خاک‌شناسان به‌کار می‌روند موردتأکید قرار می‌دهد.

افق **C** : عبارتست از مواد غیرمتراکم در زیر خاک فعال (سولوم[8])،(افق‌های A و B) که ممکن‌است شامل همان ماده‌ی مادری باشد که از آن سولوم تشکیل گردیده و یا مشابه آن نباشد. افق C در خارج منطقه حداکثر فعالیت زیستی بوده و به‌مقدار کافی در تکوین خاک تغییر نیافته است تا دارای مشخصات افق B باشد درحالی‌که مواد افق C باید چنان سست باشد که یک بیل حفاری گردد، اغلب بعضی از خصوصیات سنگ مادر و یا تشکیلاتی را که از آن تکامل یافته‌اند دارا می‌باشد. لایه‌های فوقانی آن ممکن‌است در طی زمان با پیشرفت فرسایش و هوادیدگی بخشی از خاک فعال را تشکیل دهد.

---

1 - Fibric material
2 - Hemic
3 - Fermentation
4 - Saprist
5 - Humidified
6 - Eluvation
7 - Illviation

* - در برخی از خاکهای مناطق خشک و نیمه‌خشک این ترکیبات ممکن‌است در افق C تجمع کنند

8 - Solum

لایه‌های R : عبارتنداز سنگ‌های متراکم زیرین با کمترین شواهد هوادیدگی

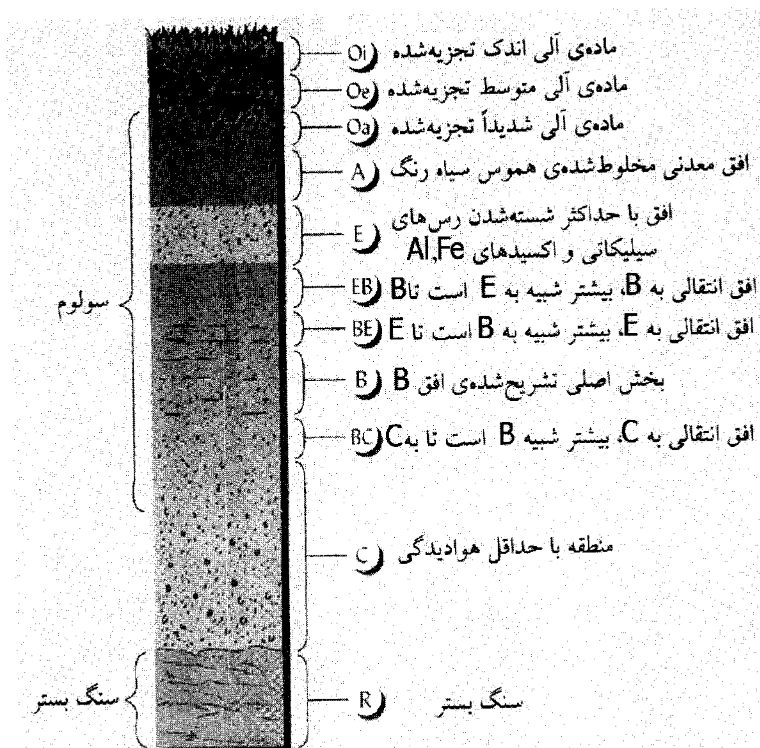
افق‌های فرعی در داخل افق‌های اصلی

اغلب لایه‌های مجزا درداخل یک افق اصلی وجود دارد که با شماره‌ای به‌دنبال حرف مشخص‌کننده افق اصلی می‌آید برای نمونه اگر سه ترکیب مختلف از ساختمان و رنگ در افقB مشاهده گردد آنوقت خاکرخ ممکن‌است شامل توالی B_1، B_2 و B_3 باشد.

اگر در مواد مادری مختلف زمین‌شناسی (بادنهشته و یخ‌رفت‌ها) در داخل خاکرخ موجود باشند شماره ۲ در مقابل علامت افق اصلی که مواد مادری از آن تکامل‌یافته‌اند به‌کار می‌رود. برای نمونه افقی که دارای توالی O-A-B-2C باشد، افق C از یخ‌رفت‌ها تکامل‌یافته درصورتی‌که افقهای بالایی از بادنهشته تکامل یافته است.

افق‌های انتقالی

این افق‌ها در بین افق‌های اصلی (O,A.E,B,C) حالت بینابین دارند. در آن‌ها ممکن‌است خصوصیت یک افق غالب بوده اما دارای خصوصیت برجسته‌تری از دیگر افق‌ها باشد. دو کلمه بزرگ لاتین برای مشخص‌کردن افق‌های انتقالی (مانند BC,BE.EB.AE) به‌کار می‌روند. افق غالب قبل از افق فرعی نوشته می‌شود. ترکیب حروف مانند E/B برای مشخص‌کردن افق‌های انتقالی که بخش خاصی ازافق دارای خصوصیت E و دیگر بخش‌ها دارای خصوصیت B می‌باشند به‌کار می‌رود.



شکل ٣٤-٢ خاکرخ فرضی یک خاک معدنی، بیانگر افق‌های عمده که ممکن‌است در یک خاک با زه‌کشی خوب در منطقه‌ی معتدل مرطوب وجود داشته باشد. ممکن‌است هر خاکرخ خاص بعضی از افق‌ها را به نمایش بگذارد، گرچه عمق نسبی آن‌ها متغیر است. به‌علاوه ممکن‌است خاکرخ افق‌های فرعی بیشتری را از آنچه در اینجا مشخص‌شده است به نمایش بگذارد. خاک فعال شامل A و E و افق B به‌انضمام بعضی از لایه‌های سیمانی‌شده C نیز می‌باشد.

مشخص‌کردن افق‌های ثانوی

از آنجا که حرف بزرگ سرشت افق اصلی را به‌طور کلی مشخص می‌سازد، ویژگی‌های خاص افق ممکن‌است با حرف کوچک که به‌دنبال حروف بزرگ می‌آیند، تعیین گردد. برای نمونه، سه نوع افق O (Oa,Oe,Oi) در خرخاکی که در شکل ۳۴-۲ نشان داده شده، مشخص گردیده است، بیانگر توالی افق‌های مربوطه است. دیگر شامل خصوصیات فیزیکی خاص و تجمع مواد خاص مانند رس و نمک‌ها می‌باشد. سیاهه‌ای از حروف تشخیصی تمایزات فرعی افق‌ها و معانی آن‌ها در جدول ۴-۲ داده شده‌است. پیشنهاد می‌کنیم که این جدول را برای مراجعه‌های آتی مشخص کنید و حال آن‌را برای آگاه‌شدن از خصوصیات متمایز خاک که با تعیین تمایز انتها مشخص می‌شود، مطالعه کنید. به‌عنوان مثال، افق Bt یک افق B است که با تمرکز رس مشخص شده است (t از کلمه آلمانی ton به‌معنی رس است). همین‌طور، در

یک افق Bk، کربنات‌ها (k) تجمع یافته‌است. هم‌اکنون پسوندهای I و a و e را برای تشخیص انواع افق‌های O به‌کار بردیم. اهمیت دیگر حروف تعیین تمایزات فرعی افق‌ها در فصل آینده موردبحث قرار خواهد گرفت.

نسبت این مشخصه‌های فرعی و معنی آن‌ها در جدول ٤-۲ آمده است. مثلاً یک افق Bt با تجمع رس (t) می‌باشد به‌همین ترتیب در یک افق Bk کربناتها (k) تجمع‌یافته است. اهمیت افق‌های ثانویه در فصل بعد مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

افق‌های موجود در یک خاکرخ

احتمال آن‌که خاکرخ در هر خاک شامل تمام افق‌هایی باشد که در جدول ۳٤-۲ آمده است ضعیف است. افق‌هایی که معمولاً در خاک‌ها دارای زه‌کشی خوب یافت می‌شوند عبارتند از Oe,Oi (و یا Oa) در صورت جنگلی‌بودن اراضی؛ A یا E (و یا هر دو بسته به شرایط)؛ Bw,Bt و C. شرایط تکوین خاک مشخص می‌کند کدام‌یک از افق‌های دیگر موجود بوده و تعریف روشنی از آن‌ها بدست می‌دهد.

وقتی در یک خاک بکر شخم و کشت‌وکار انجام می‌گیرد لایه رویی ۲۰-۱۵سانتی‌متر به افق شخم خورده (Ap) تبدیل می‌شود. شخم و شیار شرایط لایه‌بندی اولیه این لایه رویی را تخریب کرده و افق شخم خورده کم و بیش همسان می‌شود. مثالی از یک افق Ap را می‌توان در ۲۰ سانتی‌متری بالایی یک خاک که در تابلو یک نشان داده‌شده است مشاهده کرد. در بعضی از خاک‌ها افق‌های A و E از افق شخم عمیق‌تر می‌باشد (شکل ۳۵-۲).

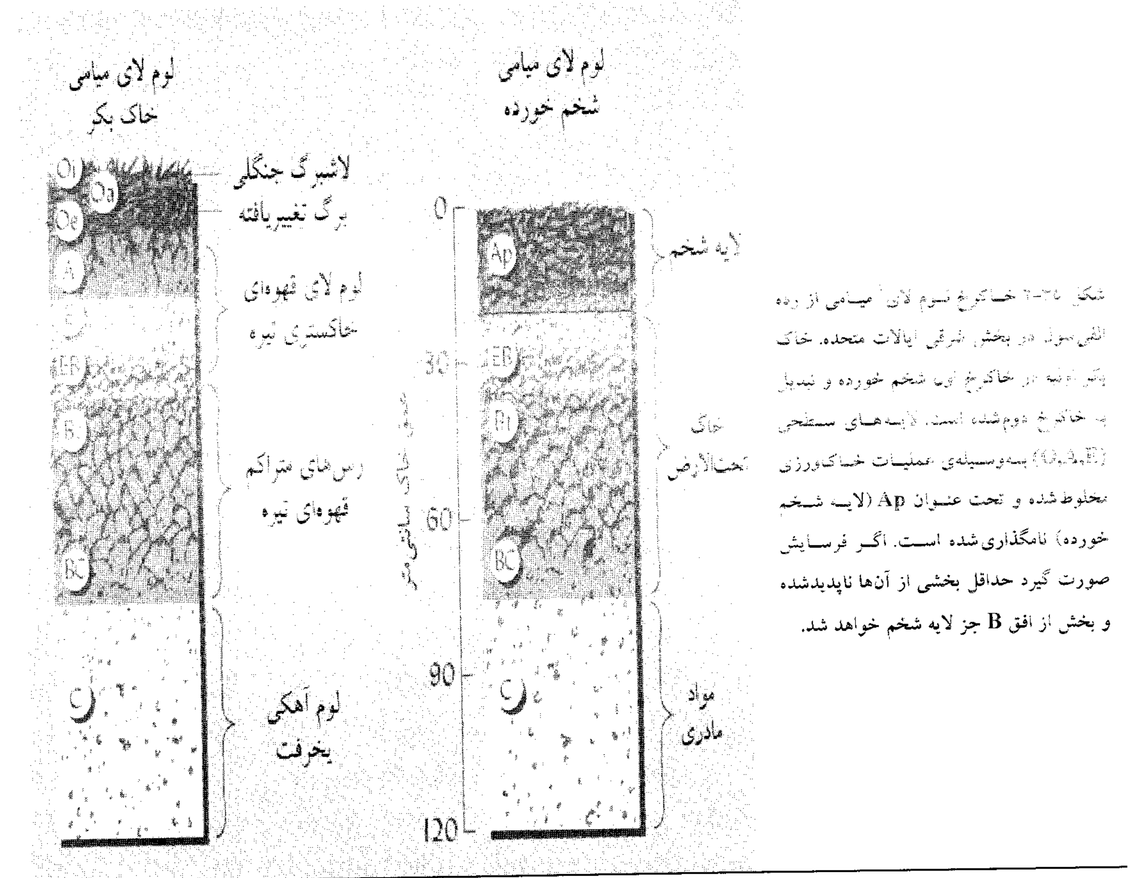
جدول ٤-۳ علایم حروف کوچک برای مشخص‌کردن افق‌های ثانوی در افق اصلی

حروف	مشخصه	حروف	مشخصه	حروف	مشخصه
a	ماده‌ی آلی به‌شدت تجزیه‌شده	j	کانی جاروسیت	s	تراکم ماده‌ی آلی و اکسیدهای Fe,Al
b	افق مدفون‌شده	jj	گردش یخ (کری توربش)[1]	ss	براق‌بودن سطوح (اسلیکن ساید)[2]
c	سخت دانه[3] - گره[4]	k	تراکم کربناتها	t	تراکم رس‌های سیلیکاتی
d	مواد متراکم استحکام نیافته	m	سیمانی‌شدن و یا سخت‌شدن	v	پلنتایت (مواد قرمز آهن دار)[5]
e	ماده‌ی آلی با درجه متوسط تجزیه	n	تراکم سدیم	w	رنگ و یا ساختمان در افق B
f	خاک یخ زده	o	تراکم اکسیدهای Fe وAl	x	فراجی پن (وزن مخصوص زیاد و شکننده)[6]
g	رنگ‌های احیایی شدید(رنگدانه)[7]	p	شخم و دیگر عملیات بهم زدن خاک	y	تراکم گچ
h	تراکم مواد آلی حاصل از آبشویی	q	تراکم سیلیس	z	تراکم نمکهای محلول
i	ماده‌ی آلی با حداقل تجزیه	r	سنگ مادر هوادیده		

در سایر موارد که لایه‌های فوقانی خیلی نازک می‌باشند خط شخم درست در بالا و حتی در افق B قرار خواهد گرفت. در بعضی از اراضی زراعی فرسایش شدید سبب ایجاد خاکرخ تراشیده‌شده[8] (کم‌عمق) می‌باشد. با فرسایش خاک سطحی خط شخم به‌تدریج برای ایجاد لایه شخم به پایین انتقال می‌یابد. در بسیاری از موارد لایه شخم تقریباً به‌طور کامل در داخل افق B قرار گرفته و درنتیجه افق C درنزدیکی سطح قرار گرفته است. مقایسه با یک منطقه غیرفرسایشی مجاور نشان می‌دهد که چه میزان فرسایش انجام گرفته‌است. چهره بغرنج دیگر حضور یک افق مدفون‌شده ناشی از عمل انسان و یا شرایط طبیعی می‌باشد.در مطالعه و تشریح خاکرخ این موقعیت نیازمند بررسیهای دقیقتر است.

---

1 - Cryoturbation
2 - Slickensides
3 - Concretions
4 - Odale
5 - Plinthite
6 - Fragipar
7 - Mottling
8 - Truncated profile



شکل ۲-۳۵ خاکرخ لوم لای[1] میامی از رده آلفی‌سول در بخش شرقی ایالات متحده. خاک بکر (چپ) در خاکرخ (راست) شخم خورده و تبدیل به خاکرخ دوم‌شده است. لایه‌های سطحی (O,A,E) به‌وسیله‌ی عملیات خاکورزی مخلوط‌شده و تحت عنوان Ap (لایه شخم خورده) نامگذاری‌شده است. اگر فرسایش صورت گیرد حداقل بخشی از آن‌ها ناپدیدشده و بخش از افق B جز لایه شخم خواهد شد.

۲-۱۸ نتیجه گیری

ماده‌ی مادری که خاک از آن تکامل می‌یابد در جهان بسیار متغییر بوده و از یک محل با محل دیگر به‌فاصله‌ی چند متر متفاوت می‌باشد. شناخت این مواد، منشاء و یا منبع آن‌ها، سازوکار هوادیدگی آن‌ها و نوع انتقال و ته‌نشینی آن‌ها اگر بخواهیم به کسب دانش خاک دست یابیم و به‌خصوص اگر بخواهیم خاک‌ها را به‌طور مناسب طبقه‌بندی کنیم اساسی می‌باشد.

تشکیل خاک به‌وسیله‌ی اقلیم و موجودات زنده بر روی مواد مادری در طی زمان و تحت تأثیر پستی‌وبلندی صورت می‌پذیرد. این ۵ عامل، تشکیل انواع خاک‌های تکامل‌یافته را مشخص می‌کند. وقتی تمام این عوامل در دو منطقه یکسان باشند نوع خاک در هر دو محل بایستی یکسان باشد.

هنگامی لایه‌ها و یا افق‌های غایب در ماده‌ی مادری شروع به ظاهرشدن در خاکرخ می‌کنند مراحل تکوین خاک آغاز می‌شود. تراکم ماده‌ی آلی در افق‌های فوقانی، حرکت رو به پایین یونهای محلول، حرکت و بازسازی مجدد رس و توسعه تجمع ذرات خاک (ساختمان خاک) در افق‌های بالایی و زیرین نشانه‌ی شروع‌شدن فرایند خاک‌سازی می‌باشد.

چهار فرایند عمومی تشکیل خاک (افزایش، کاهش، تغییر محل و تغییر مکان) و ۵ عامل مؤثر در خاک‌سازی چهار چوب منطقی باارزشی را در انتخاب محل و تخمین سرشت خاک‌هایی که امکان دارد در یک محل خاص یافت شوند ارایه می‌دهد. بالعکس تجزیه و تحلیل خصوصیات یک خاکرخ مطالب بسیاری را درباره‌ی شرایط اقلیمی، زیستی و زمین‌شناسی (گذشته و حال) محل به ما ارایه می‌دهد. مشخص‌کردن افق‌ها در یک خاکرخ منجر به درک خاک انفرادی می‌باشد که مربوط به موضوع طبقه‌بندی بوده که عنوان فصل آتی است.

---

[1] - Silty loam

سووالات برای مطالعه

۱- جمله‌ی « هوادیدگی فرایندهای تخریب و بازسازی را با همدیگر ترکیب می‌کند » چه معنی می‌دهد مثالی از این دو فرایند در هوادیدگی کانی‌های اولیه ارایه دهید.

۲- آب چگونه در واکنش‌های هوادیدگی شیمیایی دخیل است؟

۳- اهمیت نسبت Si/Al را در کانی‌های خاک بیان کنید.

۴- مثالی ارایه دهید که چگونه مواد مادری از یکطرف در طول مناطق جغرافیایی گسترده تغییر کرده اما از طرف دیگر در یک قطعه زمین کوچک نیز تغییر می‌کند.

۵- پنج عامل مؤثر در خاک‌سازی را نام ببرید، با توجه به هر کدام از این عوامل خاک‌سازی یک جنگل را در اراضی شیب‌دار راکی با دشت‌های مرتعی شبه‌آلپیان بسیار پایین‌تر مقایسه کنید.

۶- چگونه کوه‌رفت، نهشته‌های یخچالی و آبرفت از نظر ظاهر و عامل انتقال با هم متفاوت می‌باشند؟

۷- بادنهشته‌(لس) چیست و بعضی از خصوصیات آن به‌عنوان ماده‌ی مادری چه می‌باشد؟

۸- دو مثال خاص برای هر کدام از ۴ فرایند گسترده خاک‌سازی ارایه دهید.

۹- یک منطقه مسطح را با سنگ گرانیتی فرض کنید که در دو مورد سنگ مادر بوده است، در واژه‌های کلی تشریح کنید که چگونه انتظار دارید دو خاکرخ که یکی در منطقه گرم نیمه مرطوب چمن‌زار و دیگری در منطقه مرطوب خنک جنگلی زیر کاج باشد با هم فرق می‌کنند.

۱۰- برای دو خاکی که در سئوال ۵ طرح‌شده است یک شکل خاکرخی درست کنید و از علایم افق‌های اصلی و پسوندهای ثانویه برای نشان‌دادن توالی عمق نسبی و طبیعت افق‌های که شما انتظار دارید در هر خاک پیدا کنید استفاده کنید.

شـــرم‌آور اســـت کـــه قـــادر نیـــستیم بـــر روی ایـــن‌کـــه خاک چیست توافق کنیم. درایـــن مورد خاک‌شناسـان تنهـا نیـستند. زیست‌شناسان در تعریف حیات و فیلـسوفان در تعریـف فلـسفه نیـز چنین می‌باشند.

هانز ینی، در کتاب منابع خاک:

اصل رفتار

فصل سوم

طبقه‌بندی خاک

مردم اشیاء را به‌منظور درک دنیای آن‌ها طبقه‌بندی می‌کنند، ما این کار را در تمام ایام انجام می‌دهیم. وقتی اشیاء را با نام‌هـای گروهـی مخاطب قرار می‌دهیم به آن‌ها برچسب‌های می‌دهیم که ما را از خصوصیات مهم آن‌ها آگاه می‌سازند. جهانی بدون طبقه‌بندی را مجسم کنید. تصور کنید که در جنگلی مطالعه می‌کنید و فقط می‌دانید که هر نبات فقط یک نبات است. نمی‌دانند کدام برای انسان خوردنی است، کـدام برای حیات‌وحش جذاب است، لمس کدام‌یک سمی می‌باشد. تصور کنید که در یک شهر زنده مانده‌اید و می‌دانید که هر نفر فقط یک فـرد است و نمی‌دانید که به کدام گروه، بچه‌ها، بالغین، نرها، ماده‌ها، افسران پلیس، مجرمان، دوستان، معلمان و یا سایردسـته‌هـای کـه مـردم را طبقه‌بندی می‌کنند تعلق دارد. بنابراین درک ما و مدیریت خاک‌ها و نظام‌های زمینی اگر بدانیم که خاک فقط یک خاک است لنـگ خواهـد بود. چگونه می‌توانیم اطلاعات خود را در مورد خاک‌ها تنظیم کنیم؟ از تجارب دیگران چگونه می‌توانیم بیاموزیم و یا دانش خود را چگونه با نزدیکان، همکاران و یا دست‌اندرکاران مبادله خواهیم کرد.

در طول تاریخ انسان‌ها نظام‌های مختلفی برای نام‌گذاری و طبقه‌بندی خاک‌ها به‌کار برده‌اند. از زمانی که محصولات برای اولین‌بار کشت شدند انسان‌ها به اختلافات موجود در خاک‌ها آگاه شده. آن‌ها را بر حسب تناسب برای استفاده‌های مختلف طبقـه‌بنـدی کـرده و بـه آن‌هـا نام‌های توصیفی مانند خاک‌های سیاه مناسب پنبه[1]، خاک‌های شالیزار[2]، خاک‌های کشت زیتون[3] اطلاق کردند. سایر اسامی خاک‌ها کـه هنـوز امروزه مورد استفاده می‌باشند، مضامین زمین‌شناسی و مواد مادری را که خاک از آن تشکیل شده است مطرح می‌سازند. خاک‌هـای آهکـی، خاک‌های دشت دامنه‌ای و خاک‌های رسوبی از آن جمله‌اند. این واژه‌ها ضمن این‌که ممکن‌است معانی چندی برای بهره‌برداران محلی داشته باشند، کمک اندکی در سامان‌دادن دانش خود از خاک‌ها و یا مشاهده همبستگی بین خاک‌ها در جهان به ما ارایه می‌کنند.

در این فصل یاد خواهیم گرفت که خاک به‌عنوان اجسام طبیعی بر اساس خصوصیات خاکرخ، نه بر اساس تناسب آن‌ها برای کاربری خاص چگونه طبقه‌بندی خواهند شد، چنین طبقه‌بندی برای تقویت ارتباطات جهانی در مورد خاک‌ها در بین دانشمندان خاک و تمام مردمی که در ارتباط با مدیریت اراضی و حفاظت منابع خاکی می‌باشند اساسی است. از طریق نظام طبقه‌بندی می‌تـوانیم در تحقیقـات و تجـارب موجود در یک محل برای پیش‌بینی رفتار خاک‌های طبقه‌بندی شده مشابه استفاده کنیم. اسامی خاک‌ها مانند مولی‌سول یا اکسی‌سول تصاویر ذهنی مشابهی را در دانشمندان خاک در هر کجای دنیا که زندگی می‌کنند چه آمریکا، اروپا، ژاپن و یا کـشورهای درحـال توسـعه ایجـاد خواهد کرد. از طریق نظام طبقه‌بندی می‌توانیم یک زبان جهانی از خاک‌ها ایجاد کنم که سبب ارتقاء ارتباط در بین بهره‌برداران از خـاک در تمام دنیا خواهد شد.

۳-۱ مفهوم خاک انفرادی[4]

وقتی در دهه‌ی ۱۸۸۰ دانشمند خاک‌شناس روسی دوکوچایف و همکارانش این اندیشه را عنوان کردند که خاک‌هـا اجـسام طبیعـی می‌باشند دریچه‌ای کاملاً نو برای مطالعه‌ی خاک‌ها در جهان گشودند. متأسفانه ارتباطات ضعیف بین‌المللی، و اکـراه بعـضی از دانـشمندان برای قبول این عقیده جسورانه پذیرش خاک به‌عنوان یک جسم طبیعی را به‌وسیله‌ی دانشمندان اروپا و آمریکا به تأخیر انـداخت. بعـضی از

1- Black cotton soils
2 - Rice soil
3 - Olive soil
4 - Individual soil

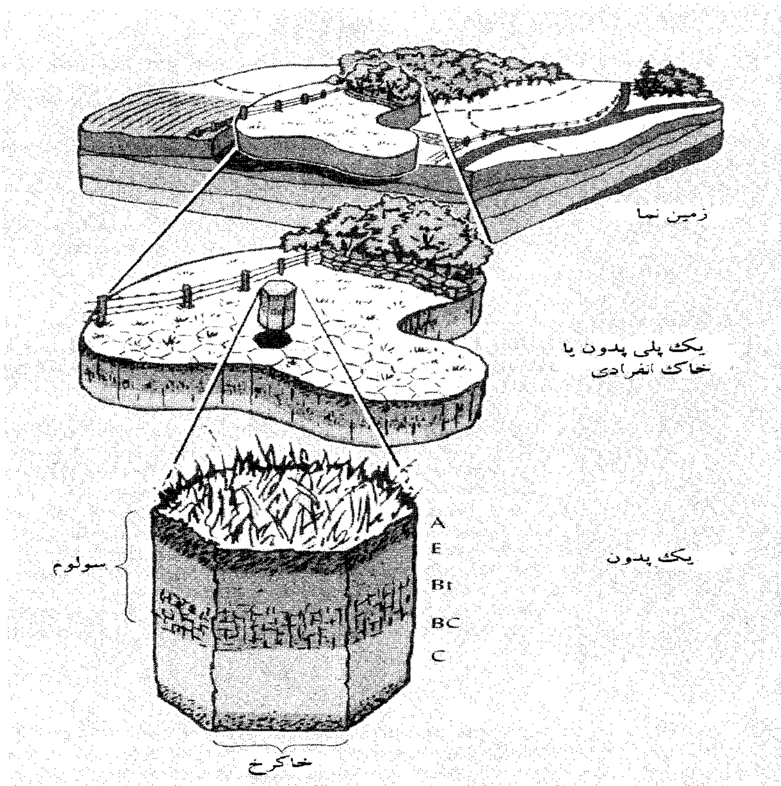
دانشمندان درگیر مطالعات صحرایی خاک، نظرات دانشمندان روسی را در خور توجه دانستند اما تا آخر دهه ۱۹۲۰ این نظرات به‌طور جدی مورد ملاحظه قرار نگرفت. س - ف ماربوت از وزارت کشاورزی آمریکا یکی از چند دانشمندی بود که مفهوم خاک به‌عنوان یک جسم طبیعی را درک کرد و یک طرح طبقه‌بندی خاک را بر اساس این اصول ارائه نمود.

مفهوم خاک به‌عنوان یک جسم طبیعی با فرض وجود اجسام طبیعی انفرادی است که به هرکدام یک خاک اطلاق می‌کنم. همان‌طورکه احاد انسان‌ها با همدیگر متفاوتند. احاد خاک‌ها نیز دارای خصوصیاتی می‌باشند که آن‌ها را از یکدیگر مشخص می‌کند. به‌همین‌نحو درست مانند احاد انسان‌ها که ممکن‌است بر اساس ویژگی‌هایی مانند قد، وزن، گروه‌بندی شوند، احاد خاک‌ها نیز ممکن‌است بر اساس یک، یا چند خصوصیت مشترک در گروه‌هایی قرار گیرند. به‌همین روال، گروه‌های بزرگ خاک هر یک با خصوصیات مشابه که آن‌ها را از دیگران متمایز می‌کند می‌تواند در دسته‌های بالاتر قرار گیرند بدین‌ترتیب با بالارفتن از نردبان طبقه‌بندی تا رسیدن به خاک، گروه‌های بزرگ می‌توان خاک را تعریف نمود.

پدون[1] و پلی‌پدون[2]

مرزبندی بارزی بین خصوصیات یک خاک انفرادی با خاک مجاور دیگر وجود ندارد. در عوض یک تغییر تدریجی در این خصوصیات از یک خاک به خاک دیگر وجود دارد.

تغییر تدریجی در خصوصیات خاک می‌تواند با تغییرات تدریجی در طول موج نور هنگامی‌که در رنگین کمان از یک رنگ به رنگ دیگر تبدیل می‌شود مقایسه گردد. گرچه تغییر تدریجی است اما می‌توانیم یک مرز مشخص را بین آن‌چیزی که سبز و آن‌چیزی که آبی می‌نامیم قایل شویم خاک‌ها در صحرا ناهمگون می‌باشند و خصوصیات خاکرخ در دو نقطه در داخل یک خاک انفرادی که برای مطالعه انتخاب می‌کنند دقیقاً همانند نیستند، بنابراین لازم است که یک خاک انفرادی را به‌عنوان یک واحد سه بعدی فرضی مشخص کنیم. این واحد سه بعدی پدون نامیده می‌شود (کلمه‌ی پدون در یونانی به‌معنی زمین است شکل ۱-۳). پدون کوچک‌ترین واحد نمونه‌گیری است که می‌تواند تمام خصوصیات یک خاک انفرادی را مشخص کند.



شکل ۱-۳ نمودار تصویری برای تشریح مفهوم پدون و خاکرخ برای تشخیص آن. توجه داشته باشید چند پدون مجاور با خصوصیات مشابه که در یک منطقه بزرگ‌تر قرار گرفته‌اند (به‌وسیله‌ی خطوط بریده مشخص شده‌اند) پلی‌پدون، و یا یک خاک انفرادی نامیده می‌شوند. چندین خاک انفرادی در این زمین‌نما وجود دارند.

[1] - Pedon
[2] - Poly pedon

پدون‌ها سطحی از یک تا ده متر مربع را شامل می‌شوند. از آنجاکه پدون‌ها همان چیزی هستند که در هنگام بررسی‌های صحرایی خاک‌ها مورد آزمایش قرار می‌گیرند به‌عنوان واحد اساسی طبقه‌بندی خاک عمل می‌کنند. هرچند واحد خاک در زمین‌نما معمولاً شامل گروهی از پدون‌های مشابهند که در ارتباط نزدیک می‌باشند. این گروه از پدون‌های مشابه یا پلی‌پدون دارای گستره‌ی چنان وسیعی هستند که می‌تواند به‌عنوان جزیی از زمین‌نما به‌نام خاک انفرادی مشخص گردند.

تمام خاک‌های انفرادی جهان که دارای مجموعه‌ای از خصوصیات خاکرخ و افق‌هایی هستند که در یک دامنه‌ی به‌خصوص قرار می‌گیرند به یک سری خاک تعلق دارند، بنابراین سری خاک مجموعه‌ای از خاک‌ها است نه یک خاک انفرادی بدین‌ترتیب به‌همان‌منوال که *Pinus sylvestris* یک گونه درختی است نه یک درخت مجزا. حدود ۱۹۰۰۰ سری خاک در آمریکا مشخص شده است که واحدهای اصلی مورد استفاده برای خاک‌ها در مقیاس ملی است. همان‌طورکه در بخش ۷-۱۹ خواهیم دید واحدهای جدا شده بر روی نقشه‌های خاک‌شناسی تفصیلی به‌طور خالص از یک خاک تشکیل نشده‌اند اما نام‌گذاری آن‌ها عمدتاً مربوط به سری‌هایی است که اکثر پدون‌های داخل واحد به آن‌ها تعلق دارد.

گروه‌بندی خاک‌های انفرادی

حال به دو محدوده خاص و بسیار گسترده مفهوم خاک دسترسی یافتیم. در یک محدوده، خاک به‌عنوان یک جسم سه بعدی است که با یک واحد نمونه‌برداری سه‌بعدی (پدون) مشخص شده‌است و گروه‌های وابسته به آن (پلی‌پدون) از اجزاء یک سری خاک می‌باشند، در محدوده‌ی گسترده دیگر خاک مجموعه‌ای از اجسام طبیعی است که از آب، سنگ متراکم و سایر بخش‌های طبیعی پوسته‌ی زمین متمایز می‌باشد برنامه‌های طبقه‌بندی تسلسلی معمولاً خاک‌ها را در کلاس‌هایی که به‌تدریج افراد بیشتری را در بین این دو محدوده در بر می‌گیرد گروه‌بندی می‌کند.

تعدادی از نظام‌های طبقه‌بندی در قسمت‌های مختلف جهان وجود دارند[1]. یک نظام اصلاح شده روسی با تأکید بیشتر بر روی عوامل تشکیل دهنده‌ی خاک نه‌تنها در کشورهای سابق اتحاد جماهیر شوروی بلکه در بعضی از کشورهای اروپایی دیگر نیز مورد استفاده می‌باشد. نظام طبقه‌بندی همچنین در فرانسه و سایر مستعمره‌نشین‌های سابق آن، بلژیک، انگلستان، استرالیا، کانادا، افریقای جنوبی و برزیل تکامل‌یافته و مورد استفاده می‌باشد. دو سازمان خواروبار جهانی (فایو) و سازمان علمی، فرهنگی آموزشی سازمان ملل متحد (یونسکو) نقشه‌ی منابع خاک‌های جهان را ارایه نموده‌اند که در آن یک نظام طبقه‌بندی برای فهرست برداری و تشریح منابع خاک جهان مورد استفاده قرار گرفته است.

در ایالات متحده نظام طبقه‌بندی ۱۹۲۷ ماربوت در سال‌های ۱۹۳۵، ۱۹۳۸ و ۱۹۴۹ مورد تجدیدنظر قرار گرفته است و آخرین تجدیدنظر به‌طور گسترده در طول ۲۵ سال مورد استفاده بوده است، در سال ۱۹۵۱ گروه مطالعات خاک‌شناسی وزارت کشاورزی آمریکا یک تلاش مشترک را با دانشمندان خاک در ایالات متحده و سایر کشورهای جهان برای ابداع یک نظام جامع طبقه‌بندی جدید آغازکرد. این نظام با تغییراتی در سال ۱۹۶۵ تا حال مورد استفاده می‌باشد و حداقل تا حدی به‌وسیله‌ی دانشمندان در ۵۵ کشور دیگر مورد استفاده قرار گرفته است. این نظام در کتاب حاضر مورد استفاده می‌باشد.

۲-۳ نظام طبقه‌بندی جامع خاک[2] : رده‌بندی خاک[3]

همانند سایر نظام‌های پیشین، نظام جامع طبقه‌بندی که نظام رده‌بندی خاک نامیده می‌شود یک نوع گروه‌بندی تسلسلی را از پیکره‌ی طبیعی خاک ارایه می‌دهد. دو چهره‌ی اصلی رده‌بندی را منحصربه‌فرد می‌سازند. اول این‌که نظام براساس خصوصیاتی از خاک که می‌توانند با دقت اندازه‌گیری و یا مشاهده شوند بنا شده اشت. این امر جر و بحث احتمالی را درمورد طبقه‌بندی یک خاک وقتی دانشمندان متکی به نظام‌هایی هستند که با سازوکار پیش‌فرض تشکیل خاک سروکار دارد، کاهش می‌دهد. دومین چهره‌ی شاخص طبقه‌بندی خاک اسم‌گذاری

---

1 - در پیوست ب طبقه بندی کانادا و فائو آمده است.

2 - Comprehensive classification system: soil taxonomy

3 - رده‌بندی، دانش اصول طبقه‌بندی می‌باشد. برای مروری بر دست‌اوردها و چالش‌های رده‌بندی به نشریه علمی SSSA (۱۹۸۴) مراجعه کنید. برای تشریح کامل رده‌بندی خاک، گروه مطالعات خاک‌شناسی (۱۹۹۹) را مشاهده کنید. اولین چاپ کتاب رده‌بندی خاک تحت عنوان گروه مطالعات خاک‌شناسی (۱۹۷۵) انتشار یافت.

می‌باشد که دلالت ضمنی بر خصوصیات خاک موردنظر دارد. این نظام گرچه بر هیچ زبان بین‌المللی متکی نیست به‌راستی بین‌المللی است. اسم‌گذاری مورداستفاده بعد از مراجعه کوتاه به معیارهای اصلی نظام یعنی خصوصیات خاک، موردملاحظه قرار خواهد گرفت.

مبانی طبقه‌بندی خاک

رده‌بندی خاک بر اساس خصوصیات خاک‌ها در حال حاضر می‌باشد. این به آن معنی نیست که فرایند تکوین خاک فراموش شده است در واقع یکی از اهداف نظام، گروه‌بندی خاک‌های مشابه از نظر توارثی می‌باشد گرچه معیار خاص به‌کارگرفته برای قرار دادن خاک‌ها در این گروه‌ها همان خصوصیات قابل مشاهده‌ی خاک است.

اکثر خصوصیات شیمیایی، فیزیکی و زیستی در این کتاب به‌عنوان استانداردی برای رده‌بندی خاک به‌کار رفته است، نمونه‌هایی چند عبارت از رطوبت، دما، رنگ، بافت و ساختمان خاک می‌باشد. خصوصیات شیمیایی و کانی‌شناسی مانند میزان ماده‌ی آلی، اکسیدهای آهن و آلومینیوم، رس سیلیکاتی، نمک‌ها، pH، درصد اشباع بازی و عمق خاک، دیگر استانداردهای مهم برای طبقه‌بندی می‌باشند.

درحالی‌که بسیاری از خصوصیات مورد استفاده ممکن‌است در صحرا مشاهده شوند. سایر خصوصیات نیازمند اندازه‌گیری‌های دقیق بر روی نمونه‌هایی است که به آزمایشگاه‌های مجهز ارسال شده‌اند. این دقت سبب واقعی‌بودن بیشتر نظام طبقه‌بندی می‌شود. اما در بعضی موارد ممکن‌است طبقه‌بندی مناسب را در یک خاک کاملاً پرهزینه و زمان بر کند. اندازه‌گیری‌هایی دقیق همچنین برای تعریف افق تشخیصی خاک مورد استفاده می‌باشد که بود و نبود آن‌ها در تعیین جای یک خاک در نظام طبقه‌بندی خاک به ما کمک می‌کند.

افق‌های تشخیصی سطحی[1]

افق‌های تشخیصی سطحی اپی‌پدون[2] (از کلمه یونانی **epi** به‌معنی رو و پدون به‌معنی خاک) نام دارند. اپی‌پدون شامل بخش رویی خاک تیره‌شده به‌وسیله‌ی ماده‌ی آلی، بخش‌های بالایی افق آبشویی‌شده و یا هر دو می‌باشد. این افق ممکن‌است بخشی از افق B را درصورتی‌که این افق به‌طور قابل ملاحظه‌ای با ماده‌ی آلی تیره‌رنگ شده باشد دربرگیرد. ۷ اپی‌پدون مشخص شده‌اند اما فقط ۵ عدد از آن‌ها در خاک‌های آمریکا به‌وفور وجود دارند. دو افق تشخیصی سطحی دیگر تحت عناوین انتروپیک[3] و پلاگن[4] درنتیجه‌ی استفاده مستمر و پرنهاده از خاک‌ها به‌وسیله‌ی انسان به‌وجود آمده‌اند. این خاک‌ها در آسیا و اروپا که خاک‌ها در طول قرن‌های مدید مورد استفاده بوده‌اند یافت می‌شوند.

اپی‌پدون مالیک[5]: (در لاتین **mollis** به‌معنی نرم است) یک افق معدنی سطحی است که به‌خاطر رنگ تیره (تابلو رنگی ۸) همراه با تراکم ماده‌ی آلی (بیشتر از ۰/۶ درصد ماده‌ی آلی در تمام عمق افق) و عمق افق (معمولاً بیشتر از ۲۵ سانتی‌متر) و نرمی خاک حتی در هنگام خشک‌بودن مشخص می‌گردد. این افق دارای درصد اشباع بازی زیاد (بیشتر از ۵۰ درصد) است. افق مالیک حداقل سه ماه در سال وقتی دمای خاک تا عمق ۵۰ سانتی‌متر بیش از ۵ درجه دمای سانتیگراد است، مرطوب می‌باشد.

این افق سطحی خاص خاک‌هایی است که در زیر پوشش گیاهان چمنی بومی تکامل‌یافته‌اند (شکل ۳-۳ و تابلو رنگی ۸).

اپی‌پدون آمبریک[6]: (در لاتین **umbra** به‌معنی سایه و تیره می‌باشد) دارای همان خصوصیات کلی افق مالیک است با این تفاوت که درصد اشباع بازی کمتر از ۵۰ درصد است. در مقایسه با اپی‌پدون مالیک این افق معدنی معمولاً در بارندگی بیشتر و در جاهایی‌که ماده مادری دارای مقدار کمتری کلسیم و منیزیم است تشکیل می‌گردد.

افق اکریک[7]: (در لاتین **mchors** به‌معنی رنگ‌پریده) یک افق معدنی است که یا بسیار نازک و دارای رنگ بسیار روشن بوده و یا دارای ماده‌ی آلی بسیار اندکی است که نمی‌تواند جزء افق‌های مالیک و آمبریک باشد. این افق معمولاً به اندازه‌ی افق‌های مالیک و آمبریک عمیق نبوده و ممکن‌است و به‌خاطر ماده‌ی آلی اندک در هنگام خشک‌بودن سخت و متراکم باشد (تابلوهای رنگی ۱، ۷ و ۱۱ را مشاهده کنید).

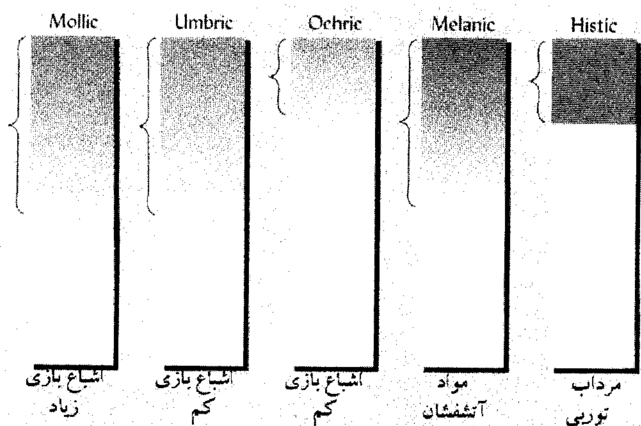
افق ملانیک[8]: (در یونانی **melas** و **melan** به‌معنی سیاه است) یک افق معدنی است که به‌خاطر میزان ماده‌ی آلی بسیار زیاد آن (کربن آلی بیشتر از ۰/۶ درصد) بسیار تیره است. این افق مشخصه‌ی خاک‌هایی است که دارای کانی‌هایی مانند آلوفان می‌باشند که از خاکسترهای

---

1 - Diagnostic surface horizons
2 - Epipedon
3 - Anthropic
4 - Plaggen
5 - Mollic
6 - Umbric
7 - Ochric
8 - Melanic

آتش‌فشانی تکامل یافته‌اند. این افق دارای بیشتر از ۳۰ سانتی‌متر عمق و از نظر وزن یک خاک معدنی فوق‌العاده سبک و متخلخل می‌باشد (تابلو رنگی ۲ را مشاهده کنید).

افق هیستیک[1] : (histos در یونانی به‌معنی بافت است) یک افق نسبتاً نازک متشکل از مواد آلی خاک[2] است که بر روی یک افق معدنی قرار گرفته است. این افق در مناطق مرطوب تشکیل می‌شود. افق هیستیک معمولاً شامل یک لایه تورب (پیت) و یا پوده (ماک) با عمق ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر است که دارای رنگ قهوه‌ای تیره و وزن مخصوص ظاهری بسیار پایین می‌باشد.



شکل ۲-۳ خاکرخ شاهد مشخص‌کننده‌ی ۵ افق تشخیص سطحی (اپی‌پدون). میزان ماده آلی و توزیع آن به‌وسیله‌ی تیره‌بودن رنگ مشخص شده است. افق‌های مالیک و آمبریک دارای توزیع مشابه ماده‌ی آلی می‌باشند. اما اشباع بازی در افق مالیک زیاد (بیش از۵۰ درصد) و درافق امبریک کم(کمتر از۵۰ درصد)می‌باشد. افق اکریک دارای ماده‌ی آلی کمتری می‌باشد و بنابراین دارای رنگ روشن‌تری بوده و در هنگام خشک‌شدن تا حدی سخت است. دو افق سطحی دیگر دارای ماده‌ی آلی بسیار بالایی بوده و دارای رنگ تیره می‌باشند. افق ملانیک بر روی مواد آتش‌فشانی جدید تشکیل شده و معمولاً در مناطق سرد مرطوب تکامل می‌یابند. افق هیستیک از مواد آلی بر روی خاک‌های معدنی در شرایط مرطوب و با طلاقی تشکیل شده است. عمق نسبی هر افق به‌وسیله‌ی ابروها نشان داده شده است.



شکل ۳-۳ افق سطحی مالیک در این خاک شامل افق‌های Ap، A_2 و Bt می‌باشد که همگی براثر تراکم ماده‌ی آلی تیره شده‌اند.

---

[1] - Histic

[2] - مواد آلی خاک مانند تورب (Peat) و پوده (Muck) که ممکن است به‌طور کامل از ماده‌ی آلی تشکیل شده باشند از نظر فنی مشخص شده‌اند که باید دارای میزان بیشتری ماده‌ی آلی از یک حداقل که در زیر آمده است باشند. اگر مواد به‌طور طبیعی از آب اشباع نباشند، ماده‌ی آلی حداقل باید ۳۵ درصد باشد(حدود ۲۰۰ گرم کربن آلی در کیلوگرم خاک) اگر در بخشی از سال از آب اشباع باشند، در آن صورت میزان ماده‌ی آلی در ارتباط با مقدار رس است. اگر رس کم باشد ماده‌ی آلی ۲۰ درصد و اگر مقدار رس از ۶۰ درصد بیشتر باشد ماده‌ی آلی ۳۰ درصد می‌باشد. برای بحث بر روی میزان ماده‌ی آلی و کربن آلی به بخش ۳-۱۲ مراجعه کنید

جدول ۱-۳ چهره‌های اصلی افق‌های تشخیصی که در خاک‌های معدنی برای تفکیک خاک‌ها در ردیف‌های بالای رده‌بندی به‌کار می‌روند.

افق‌های تشخیصی و علایم مشخصه تواراثی		چهره‌های اصلی
افق‌های سطحی یا اپی‌پدون		
Mollic	(A)	افق ضخیم تیره رنگ دارای درصد اشباع بازی زیاد وساختمان قوی
Umbric	(A)	همانند افق مالیک فقط دارای درصد اشباع بازی کم
Ochric	(A)	افق کم رنگ دارای ماده‌ی آلی کم. ممکن‌است خاک در حالت خشک سخت و متراکم باشد.
Histic	(A)	افق دارای ماده‌ی الی خیلی زیاد. در بعضی از فصول سال مرطوب می‌باشد
Anthropic	(A)	افق شبیه مالیک و تحت تأثیر انسان دارای فسفر قابل استفاده‌ی زیاد می‌باشد
Plaggen	(A)	افق چمنی ساخت انسان که در اثر تراکم کود آلی در طول سال‌ها ایجاد شده است.
Melanic	(A)	افق ضخیم سیاه رنگ دارای ماده‌ی آلی زیاد (کربن آلی بیش از ٦ درصد) در خاک‌های حاصل از خاکستر آتش‌فشانی
افق‌های زیر سطحی		
Argillic	(B_t)	تراکم رس‌های سیلیکاتی
Natric	(Bt_n)	تراکم رس‌های سیلیکاتی سرشار از سدیم دارای ساختمان ستونی و یا منشوری
Spodic	(B_h,B_s)	تراکم ماده‌ی آلی و اکسیدهای آهن و آلومینیوم
Cambic	(Bw,Bg)	تغییر و یا تعویض به‌وسیله‌ی حرکت فیزیکی و یا فعل و انفعال شیمیایی
Agric	(A یا B)	تراکم ماده‌ی آلی و رس درست در زیر لایه‌ی شخم براثر عملیات کشت‌وکار
Oxic	(B_o)	مخلوطی ازاکسیدهای آهن و آلومینیوم و رس‌های سیلیکاتی غیرچسپنده که به‌شدت هوادیده شده‌اند
Duripan	(q_m)	لایه‌ی سخت که به‌وسیله‌ی سیلیس به‌شدت سیمانی شده است.
Fragipan	(X)	لایه‌ی شکننده معمولاً با بافت لومی که به‌طور ضعیف سیمانی شده است.
Albic	(E)	افق دارای رنگ روشن که رس و اکسیدهای آهن و آلومینیوم عمدتاً از آن خارج شده است
Calcic	(K)	تراکم کربنات کلسیم و یا کربنات کلسیم و منیزیم
Gypsic	(Y)	تراکم گچ
Salic	(Z)	تراکم نمک
Kandic		تراکم رس‌های دارای فعالیت کم اکسیدهای آهن وآلومینیوم ورس‌های کائولینیت
Petrocalcic	(K_m)	افق کربنات کلسیم سیمانی‌شده
petrogypsic	(ym)	افق تراکم گچ سیمانی‌شده
Placic	(S_m)	لایه نازک که فقط با آهن و یا منگنز و یا ماده‌ی آلی سیمانی شده است.
Sombric	(B_h)	افق تراکم ماده‌ی آلی با درصد اشباع پایین خاک‌های سرد مرطوب فلات‌ها
Sulfuric		افق به‌شدت اسیدی بانقاط منقوش جاروسیت

افق‌های تشخیصی زیرین[1]

بسیاری از افق‌های زیرین برای مشخص‌کردن خاک‌های مختلف در رده‌بندی به‌کار می‌روند. ۱۸ افق تشخیصی همراه با چهره‌های اصلی آن‌ها در جدول ۱-۳ و شکل ۳-۳ آمده‌اند. هر کدام از این افق‌ها خصوصیاتی را ارایه می‌کنند که برای قرار دادن یک خاک در طبقه خاص خود در نظام کمک می‌کند. به‌طور مختصر تعدادی از این افق‌ها را تشریح می‌کنیم.

[1] - Diagnostic subsurface horizons

افق ارجلیک[1] : یک لایه زیر سطحی حاصل از تراکم رس‌های سیلیکاتی خیلی فعال است که از افق‌های بالایی به‌طرف پایین شسته شده و یا در محل تشکیل گردیده‌است. نمونه‌ای در تابلو رنگی ۱ در بین ۲۵ تا ۷۰ سانتی‌متری مقیاس عکس نشان داده شده است. رس‌ها اغلب به‌صورت پوشش بر روی دیواره منافذ (در شکل ۳-٤ نشان داده شده است) و سطح گروه‌های ساختمانی یافت می‌شوند. پوشش‌های رسی اغلب به‌صورت یک سطح براق و یا پل رسی (Clay bridge) بین دانه‌های شن دیده می‌شوند که تحت عنوان ارجیلان (Argillans) و یا پوسته‌ی رسی (Clay skins) مشهورند. آن‌ها از تراکم رس جابه‌جاشده از افق بالا ایجاد شده‌اند (تابلورنگی ۲۳ را مشاهده کنید).

افق ناتریک[2] : این افق نیز دارای تراکم رس‌های سیلیکاتی (با پوسته‌ی رسی) می‌باشد. اما رس‌ها حاوی بیش از ۱۵ درصد سدیم قابل تعویض در کمپلکس کلوییدی بوده و دارای واحدهای ساختمانی منشوری و ستونی می‌باشند. افق ناتریک عمدتاً در افق‌های خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک یافت می‌شوند. نمونه‌ای در شکل ۱۱-۴ نشان داده شده است.

افق کاندیک[3]: دارای تراکم اکسیدهای آهن و آلومینیوم و همین‌طور رس‌های سیلیکاتی با فعالیت کم (مثل کائولین) می‌باشد اما آشکاربودن پوسته رسی چندان موردنیاز نیست. فعالیت این رس‌ها با توجه به ظرفیت پایین نگهداری کاتیون آن‌ها (کمتر از ١٦ سانتی‌مول در کیلوگرم) ضعیف است. یک طبقه A که برروی افق کاندیک قرار دارد، معمولاً بیشترین میزان رس خود را از دست داده است.

افق اکسیک[4] : افق زیرسطحی با هوادیدگی شدید و دارای مقدار زیادی اکسیدهای آهن و آلومینیوم و رس‌های سیلیکاتی کم‌فعالیت (کائولین). ظرفیت نگهداری کاتیون کمتر از ١٦ سانتی مول در کیلوگرم رس می‌باشد. این افق دارای حداقل ۳۰ سانتی‌متر عمق و کمتر از ۱۰ درصد کانی‌های قابل هوادیدگی در بخش زیرین خاک می‌باشد. این افق از نظر فیزیکی پایدار بوده و دارای ساختمان اسفنجی و به‌رغم میزان رس زیاد آن چسبنده نیست. این افق‌ها عمدتاً در مناطق مرطوب گرمسیری و نیمه‌گرمسیری یافت می‌شوند(تابلورنگی ۹ فاصله ۱ تا ۳ یا در مقیاس را مشاهده کنید).

افق اسپودیک[5] : افق تراکم یافته از موادی است که مشخصه آن تراکم اکسیدهای آلومینیوم (با و یا بدون اکسید آهن) و مواد آلی کلوییدی می‌باشد، معمولاً در خاک‌های جنگلی شدیداً آبشویی‌شده (Leached) در اقالیم مرطوب سرد بر روی مواد مادری شنی یافت می‌شوند. (تابلو ۱۰ را مشاهده کنید. لایه‌های قهوه‌ای مایل به قرمز و سیاه زیر لایه مایل به سفید)

افق سومبریک[6] : افق آبشویی‌شده که به‌دلیل تراکم ماده‌ی آلی زیاد دارای رنگ تیره می‌باشد. این افق دارای درصد اشباع بازی پایین بوده و معمولاً در خاک‌های سرد مرطوب فلات‌ها و کوه‌های مرتفع در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری یافت می‌شوند.

افق البیک[7] : افق دارای رنگ روشن آبشویی‌شده[8] که از نظر رس و اکسیدهای آهن و آلومینیوم فقیر می‌باشد. این مواد عمدتاً از این افق برداشته‌شده و به پایین خاکرخ حرکت کرده است. (تابلو ۱۰، حدود عمق ۱۰ سانتی‌متری را مشاهده کنید).

تعدادی از افق‌ها دارای تجمع مواد شیمیایی نمک‌مانند هستند که از افق‌های بالایی در خاکرخ آبشویی‌شده‌اند. افق کلسیک[9] دارای تجمع کربنات‌ها(عمدتاً $CaCO_3$) که اغلب به‌صورت گردانه‌های گچ‌مانند مشاهده‌می‌شوند.(افق Bk در بخش پایین خاکرخ درشکل۳-۳ را مشاهده کنید). افق‌های جیبسیک (Gypsic) دارای تجمع گچ ($CaSO_4, 2H_2O$)و افق‌های سالیک (Salic) دارای تجمع نمک‌های محلول می‌باشند. این افق‌ها عمدتاً درمناطق خشک و نیمه‌خشک وجود دارند. در بعضی از افق‌های تشخیصی زیرزمینی مواد سیمانی‌شده درنتیجه لایه‌های نسبتاً غیرقابل‌نفوذ که سخت‌لایه[10] نامیده می‌شوند مانند دوری‌پن[11]، فراجی‌پن[12]، و افق پلاسیک[13] حاصل می‌شوند. این لایه‌ها درمقابل حرکت آب

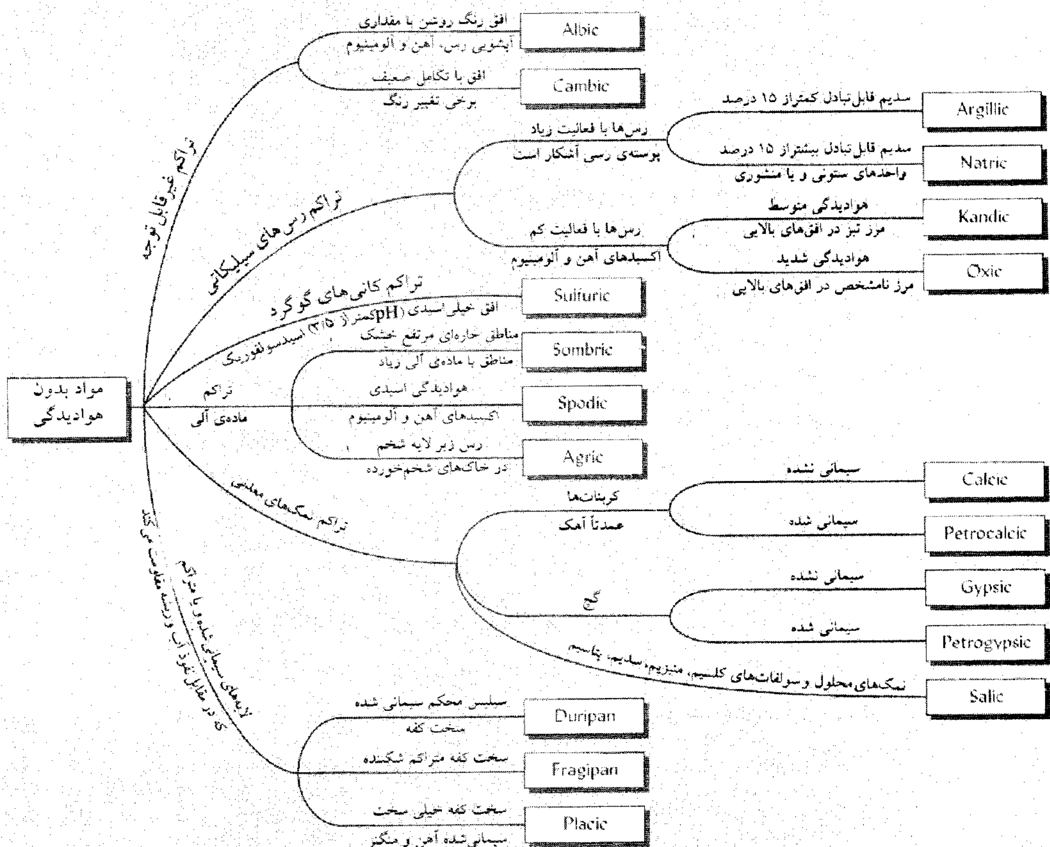
1 - Argillic horizon
2- Natric
3 - Kandic
4 - Oxic
5- Spodic
6 - Sombric
7 - Albic
8 - Eluvial horizon
9 - Calcic
10 - Pan
11 - Duripan
12 - Fragipan
13 - Placic

و انتشار ریشه‌ی گیاهان مقاومت می‌کنند[1] و از رشد گیاه ممانعت کرده و ممکن‌است سبب تسریع روان‌آب و فرسایش گردد، زیرا آب باران به‌آسانی در داخل خاک حرکت نخواهد کرد. تکوین این لایه‌ها همراه با افق‌های تشخیصی زیرزمینی دیگر درشکل ۴-۳ مورد بحث قرار گرفته‌اند.

رژیم‌های رطوبتی خاک[2]

رژیم رطوبتی خاک به حضور و یا نبود شرایط اشباع (معمولاً براثر آب زیرزمینی) و یا آب قابل استفاده گیاهان مربوط می‌شود. آب در دوره‌های مشخص از سال در بخشی از خاک که بخش نظارت[3] نامیده می‌شود وجود داشته و یا وجود ندارد. مرز فوقانی بخش نظارت عبارتست از عمق انتشار ۲/۵ سانت آب بعد از ۲۴ ساعت در داخل خاک خشک و مرز تحتانی آن عبارت‌است از عمق انتشار ۷/۵ سانتی‌متر آب در داخل خاک خشک می‌باشد. بخش نظارت خاک از ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر برای خاک‌های بافت نرم (رسی)، و ۳۰ تا ۹۰ سانتی‌متر برای خاک‌های شنی متغیر است. طبقات مختلف رژیم رطوبتی برای مشخص‌کردن خاک‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. درصد توزیع مناطق با رژیم‌های مختلف رطوبتی در جهان در جدول ۲-۳ آمده است.

رژیم رطوبتی اکویک[4]: در این رژیم خاک از آب اشباع بوده و عملاً فاقد اکسیژن گازی آزاد برای مدت زمان کافی می‌باشد که با شواهد تهویه ضعیف (نقاط اکسید، احیاشده) مشخص می‌شوند. بیشتر از ۸ درصد خاک‌های جهان در کلاس اکویک طبقه‌بندی شده‌اند.



شکل ٤-۳ نام و خصوصیات قابل توجه افق‌های تشخیصی زیرزمینی. توجه کنید که نقطه تمرکز عمدتاً بر روی خصوصیات خاک است نه بر روی چگونگی تحول احتمالی خصوصیات. در بین خصوصیات اهمیت بر تجمع رس‌های سیلیکاتی، ماده‌ی آلی، اکسیدهای آهن و آلومینیوم، ترکیبات کلسیم و نمک‌های محلول و همین‌طور مواد سیمانی‌شده و یا شدیداً اسیدی‌شده که سبب ممانعت از رشد ریشه‌ای می‌شود قرار دارد. بود و نبود این افق‌ها نقش عمده‌ای در تعیین جای طبقه در رده‌بندی خاک دارد. فصل ۸ را برای بحث درمورد رس‌های بیش‌وکم فعال ملاحظه کنید.

---

1 - افق‌های ارجلیک خوب‌تکامل‌یافته ممکن‌است دارای چنان افزایش زیاد و ناگهانی در مقدار رس باشند که حرکت آب و ریشه گیاهان را به‌شدت محدود کنند. این افق‌ها معمولاً با واژه غیر رده‌بندی سخت لایه رسی نامیده می‌شود.

2 - Soil moisture regimes (SMR)

3 - Soil control section

4 - Aquic

جدول ۲-۳ درصد مساحت جهانی خاک‌ها با رژیم‌های مختلف رطوبتی و دمایی

رژیم دمایی خاک‌ها	رژیم رطوبتی خاک‌ها						
	اریدیک	زریک	یوستیک	یودیک	پریودیک	اکویک	جمع
پرجلیک	۳/۷	--	--	۵/۳	--	۱/۹	۱۰/۹
کریک	۴/۳	--	--	۸/۵	۰	۰/۵	۱۳/۵
فریجید	۰/۵	--	۰/۲	۰/۴	--	--	۱/۲
مزیک	۵/۴	۰/۸	۰/۶	۵/۳	۰/۱	۰/۲	۱۲/۵
ترمیک	۳/۳	۲/۶	۱/۵	۳/۰	۰/۲	۰/۶	۱۱/۴
هایپرترمیک	۱۵/۷	--	۱/۵	۱/۰	۰	۰/۳	۱۸/۵
ایزو فریجید	۰	--	--	۰	۰	۰	۰/۱
ایزو مزیک	--	--	--	۰/۲	۰	۰	۰/۳
ایزو ترمیک	۰/۶	--	۱/۰	۰/۷	۰	۰	۲/۴
ایزوهایپرترمیک	۲/۱	--	۱۳	۸/۴	۰/۴	۱/۹	۲۶/۰
آب	--	--	--	--	--	۱/۲	۱/۲
یخ	--	--	--	--	--	۱/۴	۱/۴
جمع	۳۵/۹	۳/۵	۱۸/۰	۳۳/۱	۱	۸/۳	۱۰۰

رژیم رطوبتی یودیک[1] : رطوبت خاک در طول سال در اکثر سال‌ها برای برآورد نیاز گیاهان کافی می‌باشد. این رژیم در خاک‌های اقالیم مرطوب معمول بوده و حدود ۳٪ سطح جهان را می‌پوشاند. یک رژیم رطوبتی خیلی مرطوب با آبشویی خاک در سرتاسر طول سال پریودیک[2] نامیده می‌شود.

رژیم رطوبتی یوستیک[3] : رطوبت خاک در حد واسط رژیم یودیک و اریدیک بوده معمولاً برای برآورد نیاز آبی گیاهان در طول فصل رشد آن‌ها کافی می‌باشد. گرچه دوره‌های خشکسالی قابل توجه نیز ممکن‌است وجود داشته باشد. حدود ۱۸ درصد اراضی جهان در این طبقه دسته‌بندی شده‌اند.

رژیم رطوبتی اریدیک[4] : خاک حداقل در نصف فصل رشد خشک است و کمتر از ۹۰ روز متوالی مرطوب است. این رژیم مختص خاک‌ها در مناطق خشک می‌باشد. رژیم توریک[5] برای بیان همان شرایط رطوبتی در مناطقی که در تابستان گرم‌وخشک است به‌کار می‌رود. گرچه ممکن‌است زمستان گرم نباشد.

رژیم زریک[6] : این رژیم رطوبتی در اقالیم مدیترانه‌ای با زمستان‌های خنک مرطوب و تابستان‌های خشک گرم یافت می‌شود. همانند رژیم یوستیک این رژیم دارای دوره‌های خشک طولانی در تابستان است.

این واژه‌ها برای مشخص‌کردن رژیم رطوبتی خاک به‌کار رفته و نه‌تنها در طبقه‌بندی خاک‌ها مؤثر است بلکه برای استفاده دراز مدت منطقی از خاک‌ها برای اطمینان از پایداری آن‌ها یاری دهنده می‌باشد.

رژیم دمایی خاک‌ها

رژیم‌های دمایی خاک مانند فریجید[7]، مزیک[8]، ترمیک[9]، برای طبقه‌بندی خاک در سطوح پایین رده‌بندی خاک به‌کار می‌رود. رژیم کریک(Cryic)،(Kryos در یونانی به‌معنی خیلی سرد) در سطوح بالای رده‌بندی به‌کار می‌رود. این رژیم‌های دمایی بر اساس میانگین دمای

1 - Udic
2 - Perudic
3 - Ustic
4 - Aridic
5 - Torric
6 - Xeric
7 - Frigid
8 - Mesic
9 - Thermic

سالانه و تفاوت بین میانگین دمای زمستان و تابستان در عمق ۵۰ سانتی‌متری خاک می‌باشد. رژیم‌های خاص دمایی در بخش ۱۷-۳ در هنگام بحث درمورد خانواده خاک مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳-۳ طبقات رده‌بندی و نام‌گذاری خاک

شش طبقه در رده‌بندی خاک وجود دارد که عبارتند از ۱- راسته(order) بالاترین و گسترده‌ترین طبقه رده‌بندی ۲- زیرراسته (sub order) ۳- گروه بزرگ(greatgroup) ٤- زیرگروه(subgroup) ٥- خانواده(family) ٦- سری(series) (طبقه‌ی بسیار خاص).

این طبقات ممکن‌است با طبقه‌بندی گیاهان همان‌طورکه در جدول ۳-۳ آمده است مورد مقایسه قرار گیرند. شبدر سفید Trifolium repense و لوم سیلتی میامی به ترتیب نمونه‌هایی از گیاهان و خاک می‌باشند. درست مانند T. repens که یک نوع گیاه به‌خصوص را مشخص می‌کند، سری میامی یک نوع خاک خاص را مشخص می‌سازد. این مشابهت در رده‌بندی تا بالاترین طبقه (شاخه)(Phylum) برای گیاهان و راسته برای خاک‌ها ادامه دارد.

نام‌گذاری در رده‌بندی خاک

چهره‌ی منحصربه‌فرد رده‌بندی خاک نام‌گذاری آوایی غیرمعمول است که برای تشخیص طبقات مختلف خاک به‌کار می‌رود. این نام‌گذاری گر چه در نظر اول نا آشناست اما نظام نام‌گذاری دارای ساختمان منطقی بوده و اطلاعات فراوانی درباره‌ی طبیعت خاک‌های نام‌گذاری‌شده ارایه می‌دهد. یادگیری این نظام نام‌گذاری پس از اندک مطالعه‌ای آسان می‌باشد. این نام‌گذاری در سرتاسر کتاب به‌خصوص برای تعیین خاک‌هایی که در شکل‌ها آمده است مورد استفاده قرار گرفته است. در هنگام مطالعه تلاش فکری کنید که بخش‌هایی از اسم کلاس‌های مورد اشاره در کتاب و یا شکل‌ها را تشخیص دهید و سطح رده‌بندی را درک کنید. این نظام جزء طبیعت ثانوی شما خواهد شد.

اسامی واحدهای طبقه‌بندی از ترکیب هجاهایی که عمدتاً از لاتین و یا یونانی ناشی شده است تشکیل گردیده و کلمات ریشه‌ای در اکثر زبان‌های نوین را تشکیل می‌دهند. از آن‌جا که هر بخش از نام خاک مفاهیمی از خصوصیت و یا توارث خاص را بیان می‌کند اسم خاک به‌طور خودکار نوع کلی خاک مورد طبقه‌بندی را تشریح می‌کند. برای نمونه خاک‌های راسته‌ی Aridisols (از کلمات aridus به‌معنی خشک و solum به‌معنی خاک در لاتین مشتق شده است) مشخصه‌ی خاک‌های خشک در اقالیم خشک می‌باشد. خاک‌ها در راسته‌ی Inceptisols (از کلمه‌ی inceptum لاتین به‌معنی آغاز و solum به‌معنی خاک) خاک‌هایی هستند که از نظر تکامل خاکرخ در مرحله‌ی شروع و یا آغازین می‌باشند. بنابراین، اسامی راسته‌ها از ترکیب زیرراسته‌ها به‌طور خودکار راسته‌ای را که به آن تعلق دارند مشخص می‌سازد. برای نمونه خاک‌های زیرراسته‌ی Aquolls خاک‌های مرطوب (در لاتین aqua به‌معنی آب است) از راسته‌ی مولی‌سول می‌باشند. به‌همین ترتیب اسامی گروه‌های بزرگ مشخص‌کننده زیررده راسته‌ای هستند که به آن تعلق دارند. Argiaquolls عبارت از Aquollهای می‌باشند که دارای رس و یا افق ارجلیک (در لاتین argilla به‌معنی رس سفید است) می‌باشند. در نمونه تشریحی زیر توجه کنید که سه حرف oll طبقات زیرین در راسته‌ی Mollisols را مشخص می‌سازند.

زیرگروه	گروه بزرگ	زیرراسته	راسته
Typic Argiaquolls	Argiaquolls	Aquolls	Mollisols

همین‌طور نام زیرراسته در بخشی از نام گروه بزرگ و زیرگروه آمده است. اگر به کسی فقط اسم زیرگروه داده شود اسامی گروه بزرگ، زیرراسته و راسته‌ای که خاک به آن تعلق دارد به‌طور خودکار مشخص می‌شود.

اسامی خانواده‌ها بیانگر زیرمجموعه‌ای از زیرگروه‌هاست که دارای بافت و ترکیب کانی‌شناسی یکسان و میانگین دمای همانند در عمق ۵۰ سانتی‌متر می‌باشند. بنابراین نام Typic Argiaquolls, Fine mixed mesic active مشخص‌کننده‌ی نام فامیل خاک در زیرگروه Argiaquolls با بافت ریز کانی‌شناسی مخلوط رسی، رژیم حرارتی مزیک (دمای متوسط سالانه ۱۵-۸ درجه سانتیگراد) و رس‌های فعال از نظر تبادل کاتیونی می‌باشند.

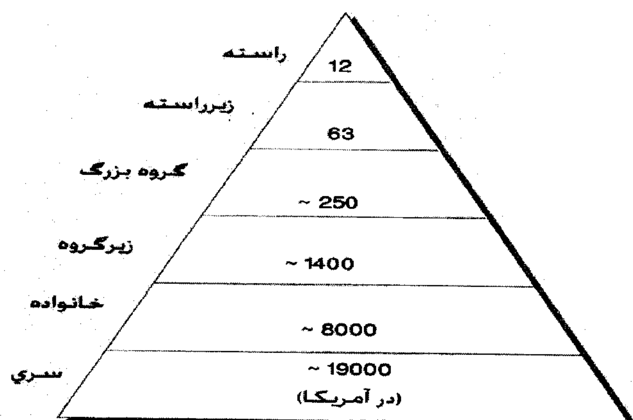
اسامی سری‌ها مربوط به چهره‌های جغرافیایی (شهر. رودخانه و ...) است که سری بار اول در نزدیکی آن مشخص شده است بنابراین نام‌هایی مانند Fort Collins و یا Ontario ،Miami ،Cecil بیانگر سری‌های است که اول بار در نزدیک این شهرها مطالعه و نام‌گذاری شده‌اند. حدود ۱۹۰۰۰ سری خاک تنها در آمریکا طبقه‌بندی شده است (شکل ۵-۳).

در مطالعات دقیق صحرایی سری‌های خاک به تقسیمات فرعی‌تر بر اساس بافت خاک سطحی، درجه‌ی فرسایش، شیب و سایر خصوصیات جدا شده‌اند. این واحدهای فرعی عملی فاز خاک[1] نامیده می‌شوند. اسامی مانند Fort Collins loam ، Cecil Clay ، Cecil clayloam eroded برای تشخیص این سری‌ها به‌کار می‌روند. توجه کنید که فاز خاک در نقاط محلی دارای ارزش عملی بوده اما در نظام طبقه‌بندی منظور نمی‌شوند.

با این تشریح مختصر در مورد نام‌گذاری نظام جدید حال سرشت کلی خاک‌ها را در هر راسته مورد ملاحظه قرار می‌دهیم.

۴-۳ راسته‌های خاک

هرکدام از خاک‌های جهان به یکی از ۱۲ راسته‌ی خاک تعلق دارد، راسته‌ی خاک عمدتاً بر اساس خصوصیات خاک است که بیانگر جریان تکاملی خاک بوده و با تأکید بر بودونبود افق‌های تشخیصی عمده‌ی تبیین می‌گردند. (جدول ٤-٣). برای مثال، بسیاری از خاک‌هایی که در تحت یک چمن‌زار تکامل‌یافته‌اند دارای همان توالی عمومی افق‌ها بوده و با افق تشخیصی سطحی (اپی‌پدون) مولیک ضخیم و تیره رنگ که از کاتیون‌های بازی سرشار می‌باشند مشخص می‌شوند. خاک‌ها با این خصوصیات، چنین به ذهن متبادر می‌شود که در تحت همان فرایندهای عمومی توارثی به‌وجود آمده‌اند، اما این به‌خاطر خصوصیات مشترک آن‌هاست که در همان راسته مولی‌سول قرار می‌گیرند. اسامی و خصوصیات هر کدام از راسته‌های خاک در جدول ٤-٣ نشان داده شده است. توجه کنید در انتهای اسامی تمام راسته‌ها sols (در لاتین solum به‌معنی خاک) آمده است.



شکل ٥-٣ گروه‌های رده‌بندی خاک و تعداد واحدها در هر گروه

جدول ٣-٣ مقایسه طبقه‌بندی شبدر سفید با خاک سری میامی

طبقه‌بندی خاک			طبقه‌بندی گیاهان	
Alfisols	راسته	افزایش	Peterophyta	شاخه
Udalfs	زیرراسته	اختصاصی	Angiospermae	طبقه
Hapludalfs	گروه بزرگ	بودن	Dicotylidoneae	زیرطبقه
Oxyaquic Hapludalfs	زیرگروه		Rosales	راسته
Fine loamy mixed mesic,active	خانواده		Leguminosae	خانواده
Miami	سری		*Trifolium*	جنس
Miami silt loam	فاز *		*repens*	گونه

* به‌طور فنی فاز در یک طبقه در رده‌بندی به حساب نمی‌آید، اما در مطالعات صحرایی کاربرد دارد. silt loam مربوط به بافت افق A می‌باشد.

شرایط کلی که سبب ارتقای تشکیل خاک در راسته‌های مختلف می‌شود. در شکل ٦-٣ آمده است. با توجه به خصوصیات خاک‌رخ خاک دانشمندان می‌توانند میزان تکامل خاک را در راسته‌های مختلف همان‌طورکه در این شکل نشان داده شده است، مشخص کنید. توجه

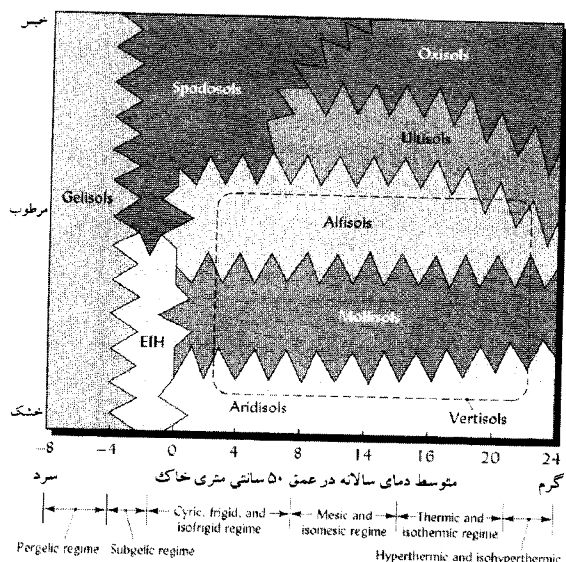
1 - Soil phase

کنید که خاک‌ها بدون لایه بندی اساسی خاکرخ (آنتی‌سول‌ها) دارای کمترین تکامل بوده درحالی‌که خاک‌ها با هوادیدگی شدید تا اعماق خاکرخ در مناطق گرم و مرطوب(اکسی‌سول‌ها و التی‌سول‌ها) بیشترین تکامل خاک را نشان می‌دهند. اثر اقلیم (رطوبت و دما) و پوشش گیاهی (جنگل و چمن‌زار) نیز در نوع خاک‌هایی که تکامل پیدا می‌کنند در شکل ٦-٣ آمده است. جدول ٤-٣ و شکل ٦-٣ را برای درک بهتر رابطه بین خصوصیات خاک و واژه‌های به‌کار رفته در راسته‌بندی خاک مطالعه کنید.

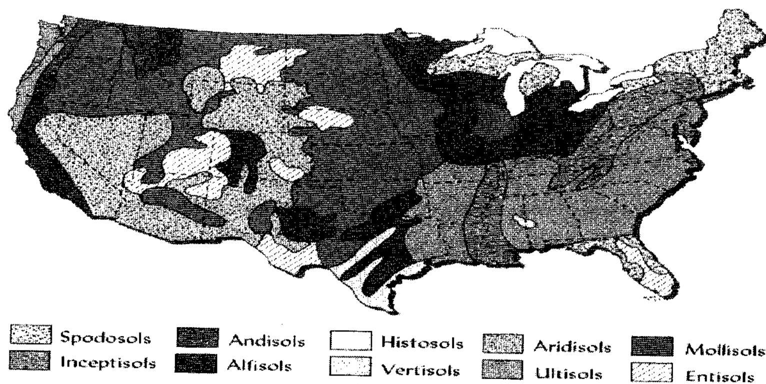
اکثر راسته‌های خاک موجود در اقالیم جغرافیایی می‌توانند به‌وسیله‌ی رژیم‌های رطوبتی و دمایی تا حدی تشریح شوند. شکل ٧-٣ بعضی از روابط بین راسته‌های خاک را در ارتباط با این عوامل آب‌وهوایی تشریح می‌کند. درحالی‌که فقط راسته‌های ژلی‌سول و اریدسول مستقیماً به‌وسیله‌ی اقلیم تشریح شده‌اند. شکل ٧-٣ مشخص می‌سازد که راسته‌های خاک‌های شدیداً هوازده معمولاً با اقلیم‌های گرمتر و مرطوب‌تر همراهند. شکل ٨-٣ یک نقشه‌ی عمومی ساده شده‌ی خاک است که اراضی عمده‌ی تحت غلبه‌ی هر راسته خاک را در آمریکا نشان می‌دهد. خاکرخ هر راسته خاک به‌صورت رنگی در تابلوهای ١ تا ١٢ آمده است. یک نقشه‌ی تفضیلی خاک (همراه با علایم نقشه) برای آمریکا در قسمت ضمایم (الف) آمده است. یک نقشه کلی جهانی ١٢ راسته خاک به‌صورت رنگی در اول کتاب آمده است.

شکل ٦-٣ نموداری که درجات کلی هوادیدگی و تکامل خاک را در راسته‌های مختلف که در رده‌بندی خاک طبقه‌بندی شده‌اند نشان می‌دهد. به‌علاوه شرایط کلی آب‌وهوایی و پوشش گیاهی که خاک‌های هر راسته تحت آن تکامل می‌یابند نشان داده شده است.

درحالی‌که تشریح سطوح پایین رده‌بندی خاک فراتر از هدف این کتاب (و یا هر کتاب دیگری) است، دانش کلی در مورد ١٢ راسته خاک برای درک طبیعت و رفتار خاک‌ها در اقالیم مختلف اساسی می‌باشد. کلید ساده‌ی ارائه شده در شکل ٩-٣ به ما در تشریح این‌که چگونه رده‌بندی خاک می‌تواند برای پیداکردن راسته‌های هر خاک بر اساس خصوصیات قابل مشاهده، قابل اندازه‌گیری مورد استفاده قرار گیرد کمک می‌کند. به‌خاطر این‌که بعضی از خصوصیات تشخیصی بر بعضی دیگر رجحان دارند کلید باید همیشه از بالا به پایین مورد استفاده قرار گیرد. مرور دوباره‌ی این کلید بعد از مطالعه خصوصیات کلی، طبیعت و محل قرارگرفتن راسته‌ها مفید خواهد بود. حال هرکدام از راسته‌های خاک را مورد ملاحظه قرار می‌دهیم و با راسته‌هایی که کمترین تکامل خاکرخ را داشته‌اند شروع کرده و تا راسته‌هایی که دارای هوادیده‌ترین خاکرخ‌ها هستند(در شکل ٦-٣ از چپ به‌راست آمده‌اند) پیش می‌رویم.



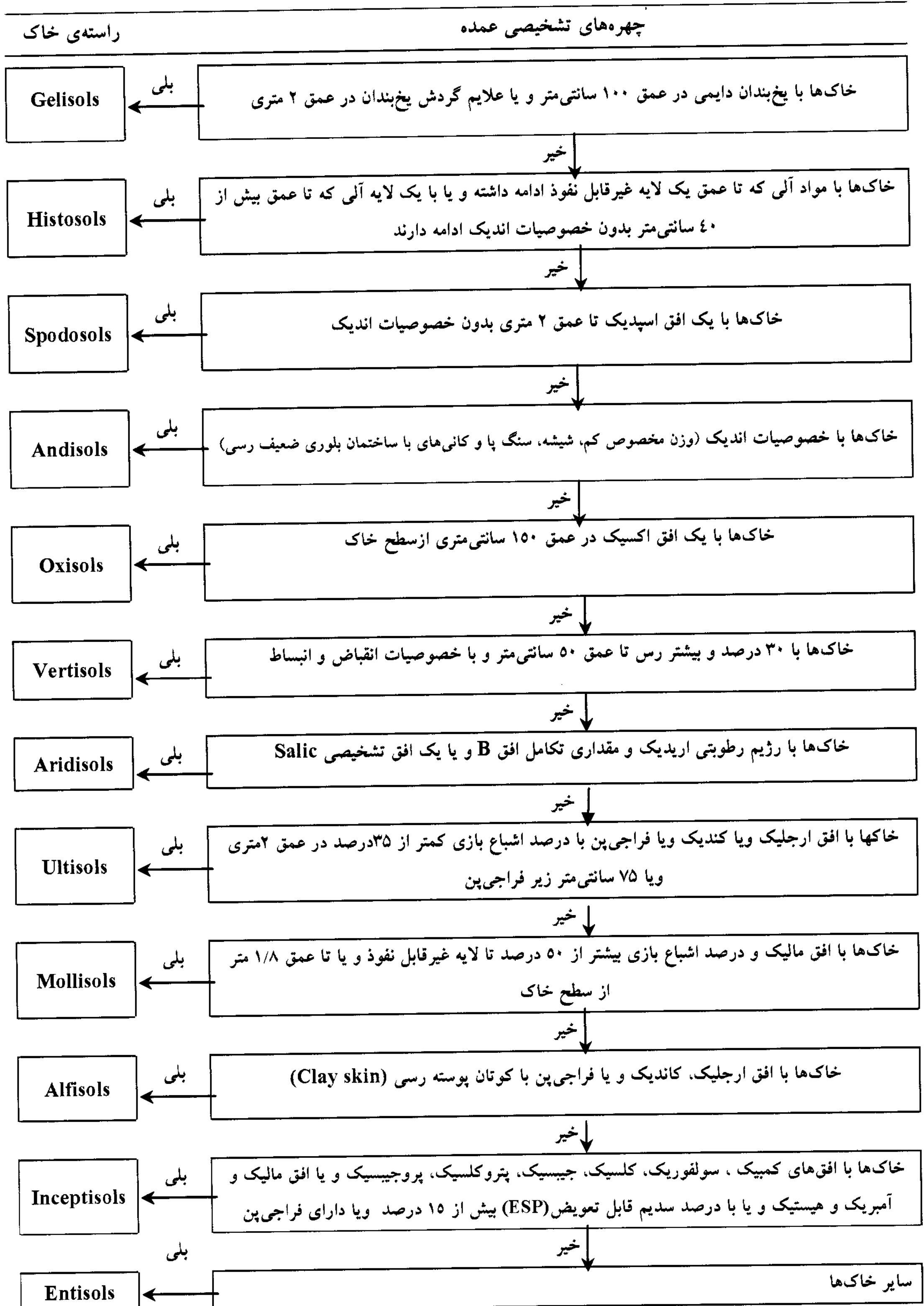
شکل ۷-۳ نموداری که نشان‌دهنده رژیم‌های رطوبتی و دمایی کل خاک است که مشخص‌کننده اکثر خاک‌های واقع در هر ۸ راسته‌ی خاک است. خاک‌های چهار راسته‌ی دیگر (اندی‌سول، آنتی‌سول، انسپتی‌سول و هیستوسول) ممکن‌است در هر شرایط رطوبتی و دمایی (از جمله منطقه‌ای که با EIH مشخص شده است)یافت شود. اکثر اراضی ورتی‌سول در مناطقی قراردارند که مواد رسی به وفور وجود دارند و رژیم‌های رطوبتی و دمایی تقریباً مشابه آنچه است که در داخل مستطیل با خطوط بریده نشان داده شده است. توجه کنید که رابطه‌ی تقریبی بوده و خاک‌های اندکی از هر راسته به‌طور زیاد در خارج مستطیل وجود دارند. برای مثال بعضی آلتی‌سول‌ها (استولت) و اکسی‌سول‌ها (استوکس) دارای مقادیر رطوبت در بعضی از قسمت‌های سال بسیار کمتر از آنچه در نمودار نشان داده شده می‌باشند.



شکل ۸-۳ نقشه کلی ساده شده‌ی خاک ایالات متحده‌ی آمریکا نشان‌دهنده‌ی توزیع راسته‌های خاک بر اساس رده‌بندی خاک. برای مشاهده‌ی نقشه تفصیلی توزیع راسته‌ها و زیرراسته‌ها ی خاک آمریکا به ضمیمه‌ی الف یا سایت زیر مراجعه کنید:
http://www.statlab.iastate.edu/soil/photogal/orders/ordmap.htm

جدول ۴-۳ اسامی رده‌های خاک در رده‌بندی با منشاء و خصوصیات مهم آن‌ها. حروف درشت مشخص‌شده در اسامی راسته‌ها بیانگر عنصر سازنده است که در آخر نام زیرراسته‌ها و دیگر رده‌های پایین داخل راسته به‌کار می‌رود.

نام	عنصر سازنده	منشاء	تلفظ	خصوصیات عمده
Alfisols	alf	نمایه بدون معنی	Pedalfer	افق‌های kandic,nitric,argillic با درصد اشباع بازی متوسط تا زیاد
Andisols	and	ژاپنی، ando، خاک سیاه	Andesite	از گدازه‌های آذرین، رس آلوفان ویا همتافت آلومینیوم و هموس
Aridisols	id	لاتین، aridus، خشک	Arid	خاک خشک، افق ochric ، بعضی مواقع افق‌های nitric,argillic
Entisols	ent	نمایه بدون معنی	Recent	تکامل خاکرخ اندک، افق ochric معمول است
Gelisols	el	یونانی، gelid، خیلی سرد	Jelly	یخبندان دایمی اغلب با گردش یخ (cryoturbazion)
Histosols	ist	یونانی، histo، بافت	Histology	خاک‌های مردابی یا تورب‌زار بیش‌از ۲۰٪ ماده آلی
Inceptisols	ept	لاتین، Inuptun، بافت	Inception	خاک‌های جنینی با چهره‌های تشخیص اندک cambic,umbric,achric
Mollisols	oll	لاتین، mollis، نرم	Mollify	افق mollic ، درصد اشباع بازی زیاد، خاک‌های تیره، بعضی با افق Aroillic و nitric
Oxisols	ox	فرانسه، oxide، اکسید	Oxide	افق oxic، بدون افق argillic، با هوادیدگی شدید
Spodosols	od	یونانی، spods، خاکستر چوب	Podzol:odd	افق spodic ، معمولاً با اکسیدهای آهن، آلومینیوم و تراکم هموس
Ultisols	ult	لاتین، ultimus، اخرین	Ultimate	افق argillic یا kandic با درصد اشباع بازی کم
Vertisols		لاتین، verto، گردش	Invert	رس‌های با انبساط زیاد، ترک‌های ژرف در خاک خشک



شکل ۹-۳ کلید ساده‌شده برای ۱۲ راسته در طبقه‌بندی خاک. در استفاده از کلید باید همیشه از بالا به پایین حرکت کنید. توجه کنید چگونه افق‌های تشخیصی و سایر خصوصیات خاکرخ برای تمایز راسته‌ی خاک از بقیه‌ی راسته‌ها به‌کار می‌رود. آنتی‌سول که فاقد چهره‌ی تشخیص خاصی است در آخر مشخص می‌شود. همچنین توجه کنید که توالی راسته‌های خاک در این کلید ارتباطی با میزان تکامل خاک ندارد و راسته‌های خاک مجاور در مقایسه با خاک‌های غیرمجاور ممکن‌است خیلی مشابه نباشند. بخش ۲-۳ را برای توضیحاتی درباره افق‌های تشخیصی مطالعه کنید.

۵-۳ آنتی‌سول‌ها (خاک‌های جدید با تکامل ناچیز خاکرخ)

شامل زیرراسته‌های **Aquents** (مرطوب)، **Arents** (افق‌های مخلوط‌شده)، **Fluenls** (ته‌نشست آبرفتی)، **Orthents** (شاخص) و **Psamments** (بافت‌شنی) می‌باشد.

آنتی‌سول‌ها، خاک‌های معدنی با تکامل ضعیف و بدون افق‌های طبیعی ژنتیکی(افق‌های سطحی و افق‌های زیر سطحی) و یا فقط با شروع ابتدایی این افق‌ها می‌باشند. (تابلو ٤). بیشتر آنتی‌سول‌ها دارای اپی‌پدون اکریک و تعدادی دارای افق‌های انسان ساخت انتروپیک و اگریک[1] بعضی دارای یک افق زیرزمینی البیک می‌باشند. این راسته دربرگیرنده دو حد نهایی: خاک‌های بسیار حاصلخیز در آبرفت جدید (فلونت‌ها[2]) و خاک‌های غیرحاصلخیز شن‌زار روان و همچنین خاک‌های کم عمق بر روی سنگ مادر می‌باشد.

این راسته شامل گروه گسترده‌ای از خاک‌ها فاقد وجوه مشترک بوده و تنها نبود شواهد تشکیل خاک و یا شواهد اولیه تشکیل خاک در آن‌ها مشترک است. آنتی‌سول‌ها یا خاک‌های جوان بوده ویا مواد مادری آن‌ها واکنشی به تشکیل خاک نشان نداده‌اند. آن‌ها ممکن‌است بر روی مواد مادری مانند گدازه‌های تازه و یا آبرفت جدید (فلونت‌ها) که در آن‌ها زمان اندکی برای تکامل خاک وجود داشته است تشکیل گردند. در مناطق خیلی خشک کمبود آب و پوشش گیاهی از تشکیل خاک جلوگیری می‌کند. همین‌طور تشکیل خاک در صورت اشباع مکرر آب دچار تأخیر خواهد گردید (اکونت‌ها[3]) بعضی از آنتی‌سول‌ها در روی شیب‌های تند، که نرخ فرسایش خاک از نرخ تشکیل خاک بیشتر است، یافت می‌شوند و بنابراین از توسعه افق‌ها ممانعت می‌گردد. آنتی‌سول‌های دیگر بر روی مناطق ساختمان‌سازی که بولدزرها افق‌های خاک را از بین برده و یا مخلوط می‌کنند سبب تبدیل خاک‌های موجود به آنتی‌سول‌ها می‌شوند که بعضی برای آن‌ها نام اربنت[4] (آنتی‌سول‌های شهری) پیشنهاد کرده‌اند.

توزیع آنتی‌سول‌ها و استفاده از آن‌ها

در مقیاس جهانی آنتی‌سول‌ها حدود ١٦ درصد اراضی سطح زمین را که زیر پوشش یخ نمی‌باشند تشکیل می‌دهند. (جدول ۵-۳ را مشاهده کنید). آنتی‌سول‌ها در تحت شرایط اقلیمی بسیار متنوعی در آمریکا یافت می‌شوند. (شکل ۸-۳ و بخش ضمائم را مشاهده کنید). برای مثال، در منطقه کوه‌های راکی ودر جنوب غربی تگزاس، آنتی‌سول‌های کم عمق بافت متوسط (ارتنت‌ها[5]) بروی سنگ‌های سخت مشاهده می‌شوند. این خاک‌ها عمدتاً به‌صورت مرتع مورد استفاده قرار می‌گیرند. آنتی‌سول‌های شنی (پسامنت[6])، شکل ۱۰-۳ درفلوریدا، آلاباما و جورجیا یافت می‌شوند و بخش کوه‌های شنی نبراسکا را مشخص می‌سازند. پسامنت‌ها به‌صورت اراضی زراعی در مناطق مرطوب به‌کار می‌روند. بعضی از اراضی تولید مرکبات، سبزی‌ها و بادام‌زمینی در جنوب آمریکا مختص پسامنت‌ها می‌باشندو آنتی‌سول‌ها بازه‌کشی ضعیف و سیلگیری فصلی (اکونت‌ها) در دره‌های اکثر رودخانه‌ها یافت می‌شوند.



شکل ۱۰-۳ خاکرخ یک پسامنت که در آبرفت شنی در ویرجینیا تشکیل شده است. به تجمع ماده‌ی آلی در افق A بدون هر نشانه‌ی دیگری از تشکیل خاکرخ توجه کنید- طول چاقو ۲۵ سانتی‌متر است.

1 - Agric
2 - Fluents
3 - Aquents
4 - Urbents
5 - Orthents
6 - Psamments

جدول ۵-۳ سطح تقریبی اراضی در راسته‌های مختلف به‌صورت درصد اراضی فاقد پوشش یخ‌بندان دایمی در جهان و آمریکا نوع استفاده عمده و حاصلخیزی طبیعی این خاک‌ها نیز ارائه شده است.

راسته‌ی خاک	زیرراسته (الف)	درصد اراضی فاقد یخ‌بندان: جهان (ب)	درصد اراضی فاقد یخ‌بندان: آمریکا (ج)	نوع استفاده اصلی	حاصلخیزی طبیعی
Alfisols		۹/٦٥	۱٤/٥۱		
	Aqualfs	۰/٦٤	۲/٤۷	زراعت - جنگل	بالا
	Cryalfs	۱/۹٤	۰/٦۸	جنگل	بالا
	Udalfs	۲/۰۹	۷/۲۱	زراعت - جنگل	بالا
	Ustalfs	٤/۳٦	۳/۲۳	زراعت	بالا
	Xeralfs	۰/٦۹	۰/۹۲	مرتع	بالا
Andisols		۰/۷	۱/۷٤		
	Cryands	۰/۲	۰/۹۸	توندرا- جنگل	متوسط
	Xerands	۰/۰۱	۰/۳٤	جنگل - مرتع	متوسط
Aridisols		۱۲/۱	۸/۷۸		
	Argids	٤/۱۷	۳/۷۷	زراعت - مرتع	کم تا متوسط
	Calcids	۳/۷٥	۲/٥٤	مرتع	کم
	Cambids	۲/۲۳	۱/۱۸	زراعت - مرتع	کم
	Cryids	۰/۷۳	۰/۰۱	مرتع	کم
	Durids	۰/۰۱	۰/۸٥	مرتع	کم
	Gypsids	۰/٥۳	۰/۱٦	مرتع	کم
	Salids	۰/٦۹	۰/۲۷	مرتع	کم
Entisols		۱٦/۲۹	۱۲/۱٦		
	Aquents	<۰/۰۱	۱/٤۰	اراضی مرطوب - زراعت	متوسط
	Fluents	۲/۲۰	۱/۷۸	زراعت	متوسط
	Psamments	۳/٤۱	۲/۸۱	زراعت - مرتع	کم
	Orthents	۱۰/٥۸	٥/۹۳	جنگل، مرتع، زراعت	کم تا متوسط
Gelisols		۸/٦۱	۷/٥		
	Histels	۰/۷۷	۰/۰۲	باتلاق	متوسط
	Orthels	۳/۰۲	۷/٤۷	توندرا	متوسط
	Turbels	٤/۸۸	<۰/۰۱	توندرا	متوسط
Histosols		۱/۱۸	۱/۲۸		
	Hemists	۰/۷٦	۰/۲۱	اراضی مرطوب - زراعت	متوسط تا بالا
	Saprists	۰/۲٦	۰/۹٤	اراضی مرطوب - زراعت	بالا

(الف): برای صرفه جویی در جا زیرراسته‌هایی که کمتر از ۰/۲٥ درصد سطح اراضی را در آمریکا و جهان شامل شده‌اند از این جدول حذف شده است سطح کل اراضی جهان که زیر پوشش یخ نیست ۱۲۹۷۸۸۲۳ کیلومترمربع و سطح آمریکا نیز ۸۷۳۹۲۷٥ کیلومترمربع می‌باشد.

(ب): مساحت کره‌ی زمین از اطلاعات پایه جهانی FAO به وسیله‌ی بخش خاک‌شناسی/وزارت کشاورزی آمریکا، منابع خاک‌های جهان در واشنگتن‌دی‌سی تهیه شده است.

(ج): مساحت آمریکا از پایگاه اطلاعاتی جغرافی خاک ایالتی (STATSGO) محاسبه شده که در سال ۱۹۹۷ به وسیله‌ی بخش خاک‌شناسی، سازمان حفاظت منابع طبیعی/ وزارت کشاورزی آمریکا در مرکز مطالعات ملی خاک‌شناسی در شهر لینکلن آمریکا ایجاد شده است.

ادامه جدول ۵-۳ سطح تقریبی اراضی در رده‌های مختلف به‌صورت درصد اراضی فاقد پوشش یخ‌بندان دایمی در جهان و آمریکا نوع استفاده عمده و حاصلخیزی طبیعی این خاک‌ها نیز ارائه شده است.

رده‌ی خاک	زیر رده	درصد اراضی فاقد یخبندان		نوع استفاده اصلی	حاصلخیزی طبیعی
		جهان	آمریکا		
Inceptisols		۹/۹۱	۹/۱۱		
	Aquepts	۲/٤۲	۱/۱۸	زراعت	کم تا بالا
	Cryepts	۱/٥~	۱/٤۷	توندرا - جنگل	کم تا متوسط
	Udepts	٤/۰~	۳/۹۰	جنگل - زراعت	کم تا متوسط
	Ustepts	۱/۰~	۱/٦۷	جنگل - زراعت	کم تا زیاد
	Xerepts	۱/۰~	۰/۸۹	مرتع - جنگل	متوسط تا زیاد
Mollisols		٦/۹٤	۲۲/٤۰		
	Aquolls	<۰/۰۱	۲/٦٤	زراعت - اراضی مرطوب	بالا
	Cryolls	۰/۹	۱/٥۱	زراعت - مرتع	بالا
	Udolls	۰/۹۷	٤/۰۹	زراعت	بالا
	Ustolls	٤/۰٤	۹/۷٦	زراعت - مرتع	بالا
	Xerolls	۰/۷۱	٤/۲۰	زراعت - مرتع	بالا
Oxisols		۷/٥٦	< ۰/۰۱		
	Peroxs	۰/۹	۰	جنگل	کم
	Udoxs	٤/۰۱	< ۰/۰۱	جنگل - زراعت	کم
	Ustoxs	۲/۳۹	< ۰/۰۱	جنگل - زراعت	کم
Spodosols		۲/٥۸	۳/۲۷		
	Aquods	<۰/۰۱	۰/٥۸	جنگل	کم
	Cryods	۱/۹	۰/٦٤	جنگل	کم
	Orthods	۰/٥۱	۲	جنگل	کم
Ultisols		۸/٥۲	۹/٦۱		
	Aquults	۰/۹۹	۰/۸٦	جنگل	کم تا متوسط
	Udults	٤/۲۷	۸/٤۹	جنگل - زراعت	کم
	Ustults	۲/۹۸	۰/۰۱	جنگل - زراعت	کم
Vertisols		۲/٤٤	۱/۷۲		
	Aquerts	<۰/۰٥	۰/٦٤	اراضی مرطوب - زراعت	بالا
	Torrerts	۰/٦۹	۰/۱۱	مرتع	بالا
	Uderts	۰/۳۱	< ۰/۰۱	زراعت	بالا
	Usterts	۱/۳٦	۰/۸٤	زراعت - مرتع	بالا
شن روان یا سنگ	-	۱٤/۰۷	۷/۸۱		

آنتی‌سول‌ها احتمالاً حتی در شرایط اقلیمی بسیار متفاوت‌تر در خارج آمریکا یافت می‌شوند. (بخش ضمایم را مشاهده کنید). پسامنت‌ها به‌طور شاخص در بیابان صحرا و عربستان سعودی و بخش‌های غالب در آفریقا، مرکز و شمال مرکزی استرالیا وجود دارند. آنتی‌سول‌های آبرفت جدید (فلونت‌ها) در اراضی تحت کشت متمرکز برنج در آسیا به وفور وجود داشته و این محصول خوراکی مهم را برای نسل‌ها تولید کرده است. آنتی‌سول‌های دارای بافت متوسط (ارتنت‌ها) در کبک شمالی و بخش‌های از آلاسکا، سیبری و تبت وجود دارند. ارتنت‌ها خاک‌های شاخص بعضی از مناطق کوهستانی مانند آندها[1] در آمریکای جنوبی و بعضی اراضی مرتفع، که از ترکیه تا پاکستان ادامه دارد یافت می‌شوند.

توان تولید کشاورزی آنتی‌سول‌ها بر حسب موقعیت و خصوصیات آن‌ها بسیار متغیراست. با کوددادن کافی و عرضه‌ی آب به‌مقدار لازم بعضی از آنتی‌سول‌ها دارای توان تولید کاملاً بالا می‌باشند. در واقع آنتی‌سول‌های تکامل‌یافته بر روی سیلدشت‌های آبرفتی جزو خاک‌های بسیار حاصلخیز و پرتولید جهان می‌باشند. شیب کم و نزدیک‌بودن به آب برای آبیاری و فراهم‌کردن عناصر غذایی به‌طور متناوب با رسوبات حاصل از طغیان رودخانه‌ها بر روی این خاک‌ها سبب توسعه‌ی تمدن‌های بزرگ جهانی بوده‌اند. گرچه، محدودیت‌هایی در عمق خاک، میزان رس و یا آب قابل استفاده سبب محدودیت توان تولید در آنتی‌سول‌ها شده است.

۳-٦ انسپتی‌سول‌ها با چهره‌های تشخیصی اندک و آغاز تکامل افق B

شامل زیرراسته‌های : **Anthrepts** (افق انسان ساخت با فسفر زیاد و رنگ تیره در سطح خاک)، **Aquepts** (مرطوب)، **Cryepts** (خیلی سرد)، **Udepts** (اقلیم مرطوب)، **Ustepts** (نیمه‌خشک)، **Xerepts** (تابستان‌های خشک و زمستان‌های مرطوب) می‌باشد.

در انسپتی‌سول‌ها شروع و یا آغاز مراحل اولیه تکامل خاکرخ آشکار بوده و بعضی چهره‌های تشخیصی حضور دارند، گرچه خصوصیات خاکرخ خیلی مشخص خاک‌های تکامل‌یافته‌تر، هنوز در آن‌ها یافت نمی‌شود. برای نمونه، افق کمبیک[2] که نشان‌دهنده‌ی تغییرات رنگ و ساختمان است در اکثر انسپتی‌سول‌ها معمول است، اما افق تکامل‌یافته B تجمع مواد، همانند افق ارجلیک[3] نمی‌تواند وجود داشته باشد. سایر افق‌های زیرسطحی که ممکن‌است در انسپتی‌سول‌ها وجود داشته باشد شامل سخت‌کفه‌سیلیسی(دوری پن)، سخت‌کفه شکننده (فراجی‌پن)، کربنات‌کلسیم‌ثانویه (کلسیک)، سولفات‌کلسیم‌ثانویه (جیبسیک) و سولفوریک می‌باشد. اپی‌پدون سطحی در اکثر انسپتی‌سول‌ها اکریک[4] بوده گرچه افق پلاگن[5] و یا افق‌های ضعیف مولیک و آمبریک نیز ممکن‌است وجود داشته باشد. در انسپتی‌سول‌ها تکامل خاکرخ بیشتری نسبت به آنتی‌سول‌ها مشاهده می‌شود، اما در تعریف آن‌ها، خاک‌ها با افق‌های تشخیصی و یا خصوصیاتی که دیگرراسته‌های خاک را مشخص کند راه ندارد. بنابراین، خاک‌ها با تکامل خاکرخ اندک که در مناطق خشک یافت می‌شوند و یا دارای خصوصیات یخبندان دایمی و خصوصیات اندیک می‌باشند جزء انسپتی‌سول‌ها محسوب نمی‌شوند. آن‌ها به ترتیب در راسته‌های اریدی‌سول، ژلی‌سول و اندی‌سول قرار دارند که در فصول بعد مورد تشریح قرار خواهند گرفت.

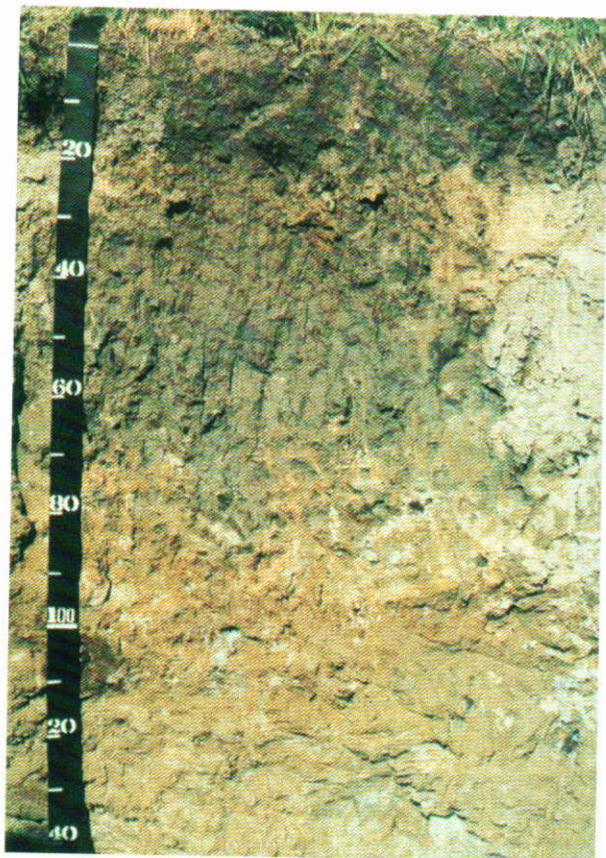
توزیع و نحوه‌ی استفاده از انسپتی‌سول‌ها

انسپتی‌سول‌ها به‌طور گسترده‌ای در سراسر جهان توزیع‌یافته‌اند، حدود ۹ درصد از خاک‌های جهان تحت این رده طبقه‌بندی شده‌اند (جدول ۵-۳). همانند آنتی‌سول‌ها، انسپتی‌سول‌ها در اکثر شرایط اقلیمی و زمین‌ریخت‌شناسی (فیزیوگرافیک) یافت می‌شوند. آن‌ها در مناطق کوهستانی به‌خصوص در مناطق حاره‌ای غالب می‌باشند. آن‌ها احتمالاً مهمترین راسته خاک در اراضی پست برنج‌زار آسیا می‌باشند.

انسپتی‌سول‌ها در هریک از قاره‌ها وجود دارند (به صفحات پشت جلد مراجعه کنید). انسپتی‌سول‌های مناطق مرطوب اودپت‌ها[6] نامیده شده و دارای افق‌های نازک سطحی با رنگ روشن می‌باشند (افق سطحی اکریک). این اودپت‌ها از نیویورک جنوبی، تا پنسیلوانیای مرکزی و غربی و ویرجینیای غربی و شرق انتاریو گسترش یافته‌اند. اودپت‌ها همراه زرپت‌ها[7] (انسپتی‌سول‌ها با رژیم رطوبتی زریک) در یک منطقه که از جنوب اسپانیا تا فرانسه مرکزی و آلمان گسترش یافته است غالب می‌باشند و همین‌طور در شیلی، افریقای شمالی، چین شرقی و سیبری غربی وجود دارند. انسپتی‌سول‌های مرطوب (اکوپت‌ها[8]) در مناطقی در امتداد رودخانه‌های آمازون و کنگا وجود دارند.

---

[1] - Ands
[2] - Cambic
[3] - Argillic
[4] - Ochric
[5] - Plaggen
[6] - Udepts
[7] - Xerepts
[8] - Aquepts



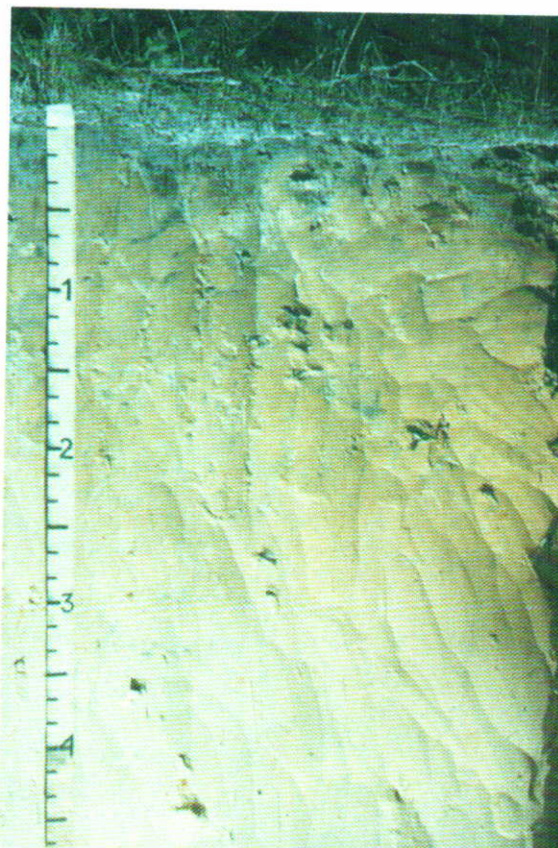
تابلو رنگی ۱: الفی سول ها - یک Aeric Epiaqualf از غرب نیویورک، افق ارجیلیک بین ۸۰ - ۲۰ سانتی متر، مقیاس برحسب سانتی متر است.



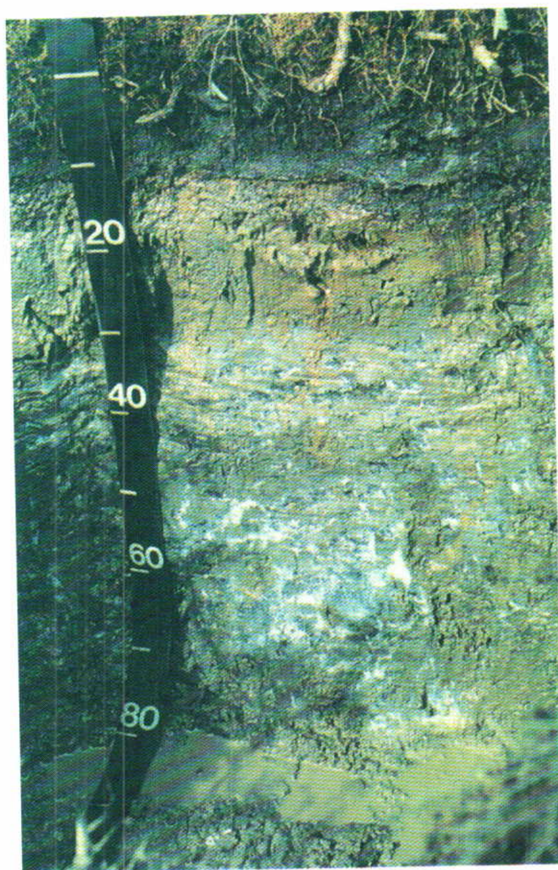
تابلو رنگی ۲: اندی سول ها - یک Typic Melanudand از غرب تانزانیا، مقیاس برحسب دسی متر است.



تابلو رنگی ۳: اریدی سول ها - یک Typic Haplocambid از غرب نوادا، مقیاس برحسب فیت است.



و رنگی ۴: انتی سول ها - یک Typic Quartzipsamment رب تگزاس، مقیاس برحسب فیت است.



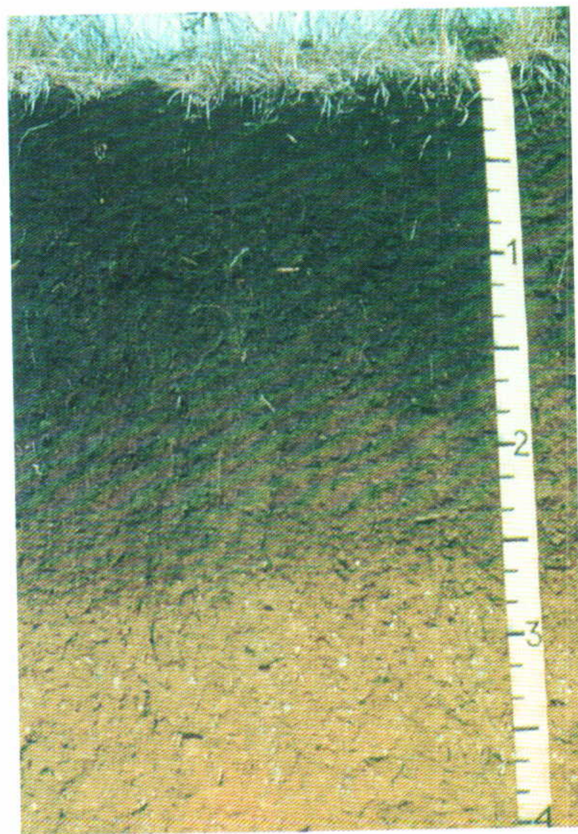
تابلو رنگی ۵: جلی سول ها - یک Aquaturbel از آلاسکا، یخ بندان دایمی در مقیاس زیر ۳۲ سانتی متر است.



تابلو رنگی ۶: هیستوسول ها - یک Limnic Haplosaprit از جنوب میشگان، خاک مدفون‌شده در زیر مقیاس. مقیاس برحسب فیت است.



تابلو رنگی ۷: اینسپی سول ها - یک Typic Dystriudept از غرب ویرجینیا، چاقو در افق کمبیک قرار گرفته است.



تابلو رنگی ۸: مولی سول ها - یک Typic Hapludolf از مرکز یوا، افق مولیک تا ۱/۸ فیت ادامه دارد. مقیاس برحسب فیت است.



تابلو رنگی ۹: اکسی سول ها - یک Udeptic Hapludox از مرکز پورتریکو، مقیاس برحسب فیت است.



رنگی ۱۰: اسپدوسول ها - یک Humic Cryorthod از جنوب
، کبک کانادا، افق البیک در ژرفای ۱۰ سانتی‌متر، میله ۱۰ سانتی‌متر
.



تابلو رنگی ۱۱: التی سول ها - یک Typic Hapludult از مرکز ویر-
نشان دهنده سنگ جوش در زیر ۶۰ سانتی متری. به بیل توجه کنید.



تابلو رنگی ۱۲: ورتی سول ها - یک Typic Haplustert از کوینزلند استرالیا، در فصل مرطوب، مقیاس برحسب متر است.



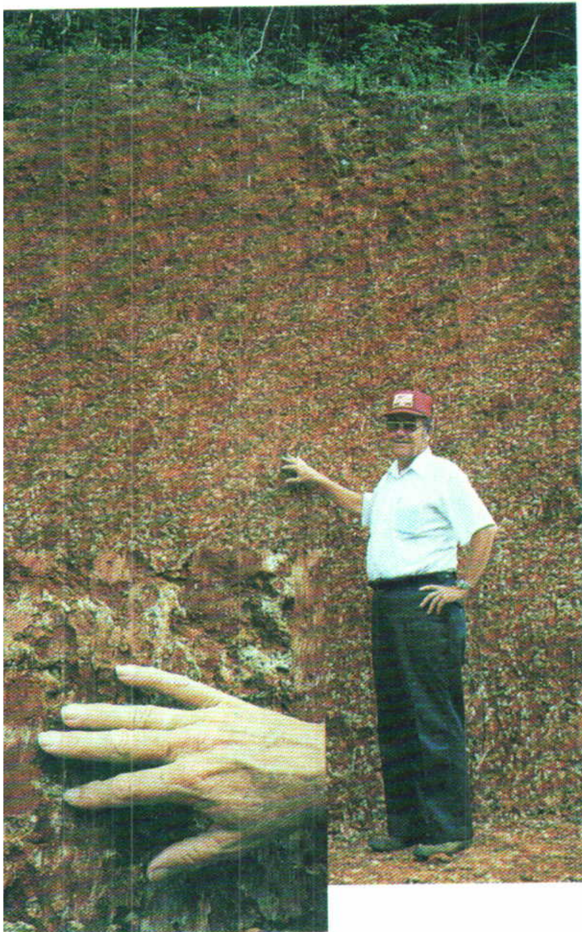
رنگی ۱۴: گوه‌های یخی و یخبندان دایمی در زیر یک خاک جلی‌سول
لاسکا، طول بیل یک متر است.



تابلو رنگی ۱۳: Typic Argiustolls در شرق مونتانا با افق
رنگ سفید کلسیک (C_K و B_K) که بر روی آن یک افق م
(Bt ، Az، Ap) قرار گرفته است.



۱۶: یک کاتنا و یا توالی پستی و بلندی در مرکز زیمبابوه، رنگ‌های
ر زه‌کشی داخلی بهتر است. عکس جایگذاری شده کلوخه‌های افق
ام خاک ها در کاتنا می‌باشد.



تابلو رنگی ۱۵: یک Typic Plinthudult در مرکز سری لانکا
منطقه‌ی پیسه‌ای پلاینتایت است که در آن سه ظرفیتی به محض خش
به طور غیرقابل برگشت سخت شود.

توان تولید طبیعی انسپتی‌سول‌ها به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای متغیر است. برای نمونه، آن‌هایی که در شمال غرب مجاوراقیانوس کبیر در آمریکا یافت می‌شوند کاملاً حاصلخیز بوده و بعضی از بهترین اراضی تولید گندم دنیا را شامل می‌باشند. برعکس، بعضی از اودپت‌ها دارای ماده‌ی آلی اندک در نیویورک غربی و پنسیلوانیای شمالی به‌طور طبیعی حاصلخیز نمی‌باشند. آن‌ها امکان یافته‌اند که بعداز سال‌های اولیه تولید محصولات زراعی مجدداً در زیر جنگل قرار گیرند.

۷-۳ اندی‌سول‌ها (خاک‌های خاکستر آتش‌فشانی)

شامل ریزراسته‌های Aquands (مرطوب)، Cryands (سرد)، Torrands (خشک، گرم)، Udands (مرطوب)، Ustands (مرطوب / خشک) Vitrands (شیشه‌ی آتش‌فشانی) Xerands (تابستان‌های خشک- زمستان‌های مرطوب) می‌باشد. اندی‌سول‌ها بر روی خاکستر و گدازه‌های آتش‌فشانی تشکیل شده و معمولاً در نزدیک محل آتشفشان و یا مناطق دورتر در جهت وزش باد که لایه‌ای نسبتاً ضخیم نهشته شده‌اند. آن‌ها معمولاً در مواد آذرین که در دوره‌های جدید زمین‌شناسی ته‌نشین شده‌اند، وجود دارند. اندی‌سول‌ها به‌علت نبود زمان کافی، خیلی در معرض هوادیدگی قرار نگرفته‌اند فرایند اصلی خاک‌سازی هوادیدگی شدید (تغییرشکل) خاکسترهای آتش‌فشانی برای تولید سیلیکات‌های بی‌شکل و یا بلوری ضعیف مانند آلوفان[1] و ایموگلیت[2] و هیدرواکسید آهن یعنی فری هیدریت[3] می‌باشد. تراکم ماده‌ی آلی (اما چنان زیاد نیست که تشکیل افق هیستیک بدهد) به‌خاطر حفظ آن به‌وسیله‌ی ترکیبات پیچیده آلومینیوم و هموس کاملاً آشکار است. حرکت رو به پایین این کانی‌ها در خاکرخ کمتر انجام گرفته است. همانند آنتی‌سول‌ها و انسپتی‌سول‌ها، اندی‌سول‌ها خاک‌های جوان بوده و فقط ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ سال است که تشکیل شده‌اند. بر خلاف دو رده خاک‌های تکامل‌نیافته مورداشاره، اندی‌سول دارای خصوصیات شاخص اندیک مواد مادری می‌باشد.

اندی‌سول‌ها، دارای خصوصیات اندیک حداقل در ۳۵ سانتی‌متری از ۶۰ سانتی‌متری فوقانی خاک می‌باشد. مواد با خصوصیات اندیک دارای شیشه آتش‌فشانی و یا مقدار زیادی کانی‌های آهن و آلومینیوم بی شکل و یا بلوری ضعیف هستند. ترکیب این کانی‌ها با مواد آلی زیاد سبب ایجاد خاک‌های سبک متخلخل می‌شود که به آسانی شخم خورده اما دارای ظرفیت نگهداری آب زیاد می‌باشند که در مقابل فرسایش آن‌ها را مقاوم می‌سازد. آن‌ها عمدتاً در مناطقی یافت می‌شوند که بارندگی مانع از حساسیت آن‌ها در مقابل فرسایش بادی می‌گردد. اندی‌سول‌ها دارای حاصلخیزی طبیعی بالایی می‌باشند. به‌استثنای فسفر که قابلیت استفاده آن به خاطر ظرفیت بی‌اندازه زیاد تثبیت مواد اندیک (بخش ۸-۱٤ را مشاهده کنید) پایین می‌باشد. خوشبختانه، با مدیریت مناسب بقایای گیاهی و کودهای شیمیایی، معمولاً می‌توان بر این مشکل فایق آمد. بعضی از اندی‌سول‌ها دارای افق ملانیک که یک افق تشخیصی سطحی است می‌باشند. این افق دارای ماده‌ی آلی زیادی بوده و تیره رنگ است (تابلو ۲ را مشاهده کنید).

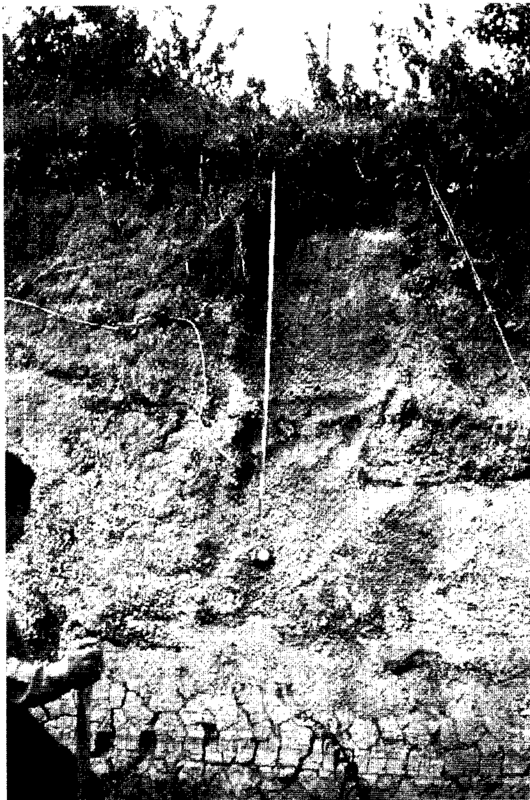
توزیع و طرز استفاده از اندی‌سول‌ها

اندی‌سول‌ها در مناطقی که خاکسترهای آتش‌فشانی و سایر مواد گدازه دارای عمق کافی باشند یافت می‌شوند. (شکل ۱۱-۳) در مقیاس جهانی آن‌ها کمتر از ۱ درصد سطح خاک‌های جهان را شامل می‌شوند (جدول ۵-۳)، گرچه، در کناره‌های اقیانوس کبیر آن‌ها خاک‌های مهم و پرتولید را شامل می‌گردند که محصولات زراعی پرنهاده را به‌خصوص در مناطق مرتفع خنک تولید می‌کنند.

اندی‌سول‌های دارای رژیم رطوبتی یودیک (مرطوب)، و یا یودانت‌ها(Udands) در آسیا، در مقیاس گسترده مورد استفاده بوده و غذای کافی برای کشورهای پرجمعیت آن قاره تهیه می‌کنند. زیرراسته‌ی خشک‌تر و یا استاندها(Ustands) به‌صورت پرنهاده مورد استفاده‌ی کشاورزی می‌باشند. ادوانت‌ها و استاندها، به‌طور گسترده‌ای در ریفت‌ولی[4] در افریقای شرقی (تابلو رنگی ۲ را مشاهده کنید). یافت می‌شوند. اندی‌سول‌ها در سطح کمتری در اقالیم سرد (کریاندها)(Cryands)، درکانادا و روسیه و در اقالیم گرم خشک (تورانـدها)(Torrands)، در مکزیک و سوریه وجود دارند. فوران‌های آتش‌فشانی خیلی جدید مانندکوه هلن مقدس[5] در شمال غربی آمریکا و کوه‌های پین تابو[6] در فیلیپین سبب ایجاد زیر رده ویتراندها شده است که دارای شیشه آتش‌فشانی به‌مقدار زیاد بوده وظرفیت نگهداری آب در آن‌ها کم می‌باشد.

[1] - Allophane
[2] - Imogolite
[3] - Ferrihydrite
[4] - Rift valley
[5] - Mount Saint Helenes
[6] - Pinetabo

در آمریکا منطقه‌ی تحت اندی‌سول‌ها به‌دلیل نبود گستردگی فوران‌های آتش‌فشانی جدید، وسیع نیست گرچه اندی‌سول‌ها در بعضی از خاک‌های حاصلخیز گندم زار و تولید الوار در واشنگتن، ایداهو و اورگن وجود دارند. برهمین‌منوال این رده‌ی خاک در بعضی از بهترین کشتزارهای آمریکای لاتین مانند آکودار و کلمبیا و در بیشتر سطح آمریکای مرکزی یافت می‌شوند.



شکل ۱۱-۳ یک اندی‌سول تکامل‌یافته بر روی لایه‌های خاکستر آتش‌فشانی و سنگ پا در آفریقای مرکزی

۸-۳ جلی‌سول‌ها[1] (خاک‌ها با یخ‌بندان دایمی و چرخش خاک به‌وسیله‌ی یخ)

شامل زیرراسته‌های هیستل(Histels) (ماده‌ی آلی)، ارتل(Orthels) (معمول بدون چهره خاص)، و توربل(Turbels) (گردش یخ[2] در خاکرخ) می‌باشند. جلی‌سول‌ها خاک‌های جوان با تکامل خاکرخ اندک می‌باشند. دمای پایین و شرایط یخ‌بندان فرایند خاک‌سازی را در اکثر سال کند کرده است. چهره‌ی اصلی مشخصه این خاک‌ها حضور لایه یخ‌بندان دایم (تابلو رنگی ۵ و ۱٤ را مشاهده کنید) می‌باشد. لایه یخ‌بندان لایه‌ای از مواد است که در دمای زیر صفر سانتیگراد به‌مدت بیش از دو سال متوالی باقی می‌ماند. ممکن‌است یک لایه سخت سیمانی شده خاک به‌وسیله‌ی یخ باشد (در تشریح خاکرخ به‌صورت Cfm مشخص می‌شود). در جلی‌سول‌ها، لایه یخ‌بندان در فاصله‌ی ۱۰۰ سانتی‌متری از سطح خاک قرار دارد مگر این‌که گردش یخ در ۱۰۰ سانتی‌متر فوقانی آشکار باشد که دراین‌صورت لایه یخ‌بندان دایمی ممکن‌است از عمق ۲۰۰ سانتی‌متری سطح خاک آغاز گردد. گردش یخ عبارت‌است از به‌هم‌خوردن فیزیکی مواد خاکی براثر ایجاد گوه‌های یخی و به‌وسیله‌ی انبساط و انقباض آب به‌دنبال یخ‌بندان و ذوب یخ می‌باشد. این عمل گردش یخ سبب حرکت‌دادن مواد و جهت‌دادن قطعات سنگ در جهت خطوط نیرو و ایجاد افق‌های به‌هم‌تابیده و شکسته‌شده (به‌صورت Cjj بیان شده‌اند) ویا تراکم مواد آلی در بالای ناحیه یخ‌بندان دائمی می‌گردد نمونه‌ای از «مهرازی خاک»، که به‌وسیله‌ی گردش یخ ایجاد شده، در شکل ۱۲-۳ نشان داده شده است. گردش یخ ممکن‌است اشکالی در سطح خاک مانند برجستگی‌ها و چند ضلعی‌های سرشار از یخ که چندین متر طول دارند ایجاد کند. در بعضی مواقع صخره‌ها ممکن‌است به‌شکل حلقه‌ها و یا شبکه توری به سطح خاک رانده شوند.

جلی‌سول‌هایی که در آن‌ها گردش یخ آشکار است توربل نامیده می‌شوند سایر جلی‌سول‌ها که اغلب در محیط‌های مرطوب و اغلب با تراکم ماده‌ی آلی به‌وجود می‌آیند هیستیل می‌باشند (از واژه یونانی histos به‌معنای بافت، شکل ۱۳-۳). اکثر فرایندهای خاک‌سازی بر روی

---

1 - Gelisols
2 - Cryoturbation

منطقه یخ‌بندان در لایه‌ی فعال، که هر یک‌سال یا دوسال ذوب می‌شود صورت می‌گیرد. انواع افق‌های مختلف تشخیصی ممکن‌است در جلی‌سول‌های متفاوت تکامل یابند که از جمله‌ی آن‌ها مالیک، هیستیک، آمبریک، کمبیک و گاهی افق ارجلیک می‌باشند.



شکل ۱۲-۳ شیوه‌های پیچش و شکستگی در مرز افق‌ها براثر گردش یخ. این نمونه از اثرات گردش یخ در عصر یخ‌بندان پلیستوسن است، به احتمال بسیار زیاد این خاک در زیررده توربل قرار می‌گرفته‌است. این خاک در مجارستان قرار داشته که یخ‌بندان دایمی دیگر وجود ندارد و امروزه در زیر یک مولی‌سول که از مواد سیلتی یا (لس) ایجاد شده‌است قراردارد. نقطه‌های گرد سیاه حفره‌های ایجاد شده به‌وسیله‌ی جانوران است که پر شده است و به آن کروتووینا[1] گفته می‌شود (بخش ۱۴-۲ را مطالعه کنید) عکس دارای ۶۰ سانتی‌متر عرض است.

توزیع و استفاده

جلی‌سول‌ها ۱۱ میلیون کیلومترمربع و یا ۸/۶ درصد سطح زمین را پوشانده‌اند. حدود ۸ میلیون کیلومترمربع در روسیه‌ی شمالی و حدود ٤ میلیون کیلومترمربع در کانادا و آلاسکا قرار دارد و اکثر سال در زیر برف و یخ می‌باشند، اکثر جلی‌سول‌ها دارای پوشش توندرا بوده که از جلبک‌ها، چمن‌ها و بوته‌های کم‌ارتفاع که در طول تابستان کوتاه رشد می‌کنند، تشکیل شده است، اراضی وسیعی از جلی‌سول‌ها از باتلاق‌ها تشکیل شده است که بعضی آن‌ها بر روی لایه‌های یخ‌زده و یا یخ‌نزده آب شناور می‌باشند و میلیون‌ها گوزن آمریکایی[2]، گوزن شمالی[3]، و گاو شمالی[4] بر روی این پوشش در تابستان زندگی می‌کنند و سپس در ماه‌های سرد به جنگل‌های سردسیر[5] مهاجرت می‌کنند. بسیاری از باتلاق‌ها و آبگیرها به‌عنوان محل آشیانه‌سازی برای پرندگان مورد استفاده قرار می‌گیرد. که از ابرهای ضخیم مگس گزنده و پشه‌ها تغذیه می‌کنند. جمعیت انسانی در این محیط ناسازگار اندک است.

جلی‌سول‌ها مسایل خاصی را در طرح‌های ساختمان‌سازی ایجاد می‌کنند. بسیاری از هیستل‌ها بسیارمرطوب بوده و دارای قدرت تحمل بار کمی برای نگهداری جاده‌ها و ساختمان‌ها می‌باشند. یخ‌بندان دایمی در بعضی جلی‌سول‌ها در صورت به‌هم‌خوردن ناپایدار می‌باشد و درنتیجه لوله‌ها و خطوطی که از عرض آلاسکا عبور کرده‌اند به‌جای‌این‌که دفن شوند باید بر روی خرپا نصب شوند. اگر لوله‌ها در تماس با خاک باشند، حرارت ناشی ازجریان نفت در لوله سبب ذوب‌شدن لایه یخی و نشست خاک و شکسته‌شدن لوله و هدررفت نفت می‌گردد. اراضی محدودی از جلی‌سول‌ها برای کشاورزی مورد استفاده می‌باشند. به خاطر فصل رشد بسیار کوتاه در عرض‌های بسیار شمالی، میزان تابش خورشیدی (به‌استثنای ماه‌های گرم تابستان) کم و شرایط ماندابی در اکثر جلی‌سول‌ها که یخ‌بندان مانع زه‌کشی داخلی در طول ماه‌های ذوب یخ در تابستان است، توان تولید جلی‌سول‌ها پایین است.

---

1 - Crotovinas
2 - Caribov
3 - Reindeer
4 - Muskox
5 - Boreal forest



شکل ۱۳-۳ یک جلی‌سول با اپی‌پدون هیستیک و یخ‌بندان. در این هیستل در ماه ژوئیه در آلاسکا عکس‌برداری شده است، مقیاس برحسب سانتی‌متر است.

۹-۳ راسته هیستوسول‌ها (خاک‌های آلی، بدون یخ‌بندان دایمی)

شامل زیرراسته‌های Fibrists (الیاف گیاهی آشکار است)، Folists (تراکم برگ‌ها)،Hemists (بخشی از الیاف تجزیه شده است) و Saprists (الیاف گیاهی آشکار نیست)، می‌باشد.

هیستوسول‌ها خاک‌هایی می‌باشند که به‌خاطر محیط غیرهوازی که در آن تشکیل شده‌اند کمتر تحت تکامل خاکرخ قرار گرفته‌اند. فرایند اصلی و آشکار خاک‌سازی در هیستوسول‌ها تراکم ماده‌ی آلی نسبتاً تجزیه‌شده بدون یخ‌بندان دایمی می‌باشد (وجود یخ‌بندان دایمی سبب می‌شود که خاک در زیرراسته هیستل در راسته‌ی جلی‌سول قرار گیرد). هیستوسول‌ها از یک یا چند لایه‌ی ضخیم ماده‌ی آلی در خاک تشکیل شده‌اند. معمولاً هیستوسول‌ها دارای خاک‌های آلی در نصف بیشتر ۸۰ سانتی‌متری خاک فوقانی (تابلو رنگی ۱۶) و یا در ۲/۳ لایه‌ی فوقانی بر روی سنگ‌های کم عمق می‌باشند.

اگر چه همه‌ی مناطق مرطوب دارای هیستوسول نمی‌باشند تمام هیستوسول‌ها (غیراز فولیست‌ها) به‌طور شاخص در محیط‌های اشباع از آب تشکیل می‌گردند آن‌ها می‌توانند در هر اقلیم از استوا تا مناطق یخ‌بندان دایمی، که گیاهان بتوانند رشد داشته باشند پیدا می‌شوند اما آن‌ها در اقالیم سرد تا حد یخ‌بندان دایمی غالب می‌باشند. تشکیل و تفکیک افق‌ها بیشتر براثر نوع پوشش گیاهی و بقایای آن‌ها در مقایسه با جابه‌جایی و تراکم مواد در داخل خاکرخ می‌باشد. رسوبات آلی در مرداب‌ها و باتلاق‌ها که محل مناسب برای رشد گیاهان آب‌دوست مانند گیاهان مردابی، لولی‌ها، جگن‌ها، نی‌ها، خزه‌ها و بوته‌ها و حتی درختان می‌باشد تراکم می‌یابند. نسل‌هابه‌دنبال‌نسل‌ها بقایای این گیاهان در آب مدفون شده و به‌دلیل کمبود اکسیژن از اکسایش آن‌ها جلوگیری و بنابراین به‌صورت نسبتاً دست‌نخورده باقی مانده‌اند.(شکل ۲۳-۱).

به‌دلیل میزان ماده‌ی آلی زیاد، هیستوسول‌ها معمولاً دارای رنگ سیاه تا قهوه‌ای تیره می‌باشند. آن‌ها در هنگام خشک‌بودن بسیار سبک بوده و چگالی آن‌ها ۱۰ تا ۲۰ درصد خاک‌های معدنی است. هیستوسول‌ها دارای ظرفیت نگهداری آب بالایی بر حسب درصد جرمی می‌باشند درحالی‌که خاک‌های معدنی حدود ۲۰ تا ۴۰ درصد وزن خود آب جذب می‌کنند یک هیستوسول تحت کشت‌وکار ۲۰۰ تا ۴۰۰ درصد وزن خشک خود آب جذب می‌کند به‌خاطر وزن مخصوص اندک خاک‌های آلی (چگالی حجمی کم) این خاک‌ها بر اساس حجم، آب بیشتری از خاک‌های معدنی جذب نکرده و مقدار آب جذب شده به‌وسیله‌ی آن‌ها بر اساس واحد حجم و یا در هکتار همانند یک خاک معدنی خوب می‌باشد.

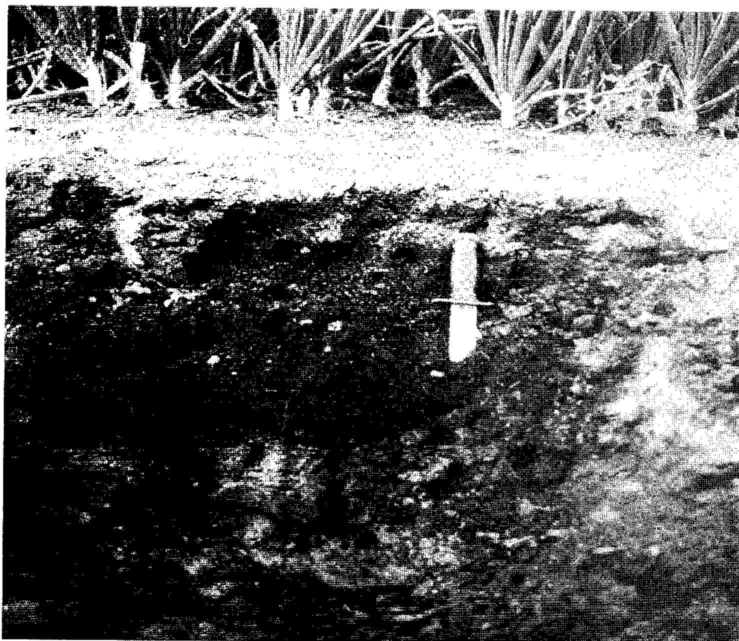
توزیع و استفاده

گرچه این رده حدود ۱ درصد از سطح اراضی دنیا را اشغال کرده‌است، هیستوسول‌ها و یا پیت‌زارها اراضی عمده‌ای در مناطق سرد و مرطوب آلاسکا، کانادا، فنلاند و روسیه و همین‌طور اراضی مردابی مانند ایسلند را شامل می‌شوند. از سطح ۲۰۰ میلیون هکتار اراضی هیستوسول حدود ۷/۵ میلیون هکتار در قاره آمریکا یافت می‌شود. که ۳/۴ این اراضی در مناطق یخچالی مانند ویسکانسین، مینی‌سوتا، نیویورک و میشیگان قرار دارند (شکل ۱٤-۳ را مشاهده کنید). سایر مناطق پیت‌زار آمریکا (حدود ۱/۴) در اراضی نزدیک ساحل مانند باتلاق‌ها و مرداب‌ها در فلوریدا، بسترهای نیزاری کالیفرنیا و مناطق آب گرفته مشابه در لوزیانا و دریاچه‌های جزر و مدی در ایالات واقع در اطلس میانی قرارگرفته‌اند.

به خاطر این‌که نقش بوم‌شناختی اراضی مردابی کمتر مورد توجه بوده است (و یا به‌وسیله‌ی قانون حفاظت نشده است) بیشتر از ۵۰ درصد اراضی مرطوب اولیه در آمریکا برای استفاده کشاورزی و دیگر کاربری‌ها به‌خصوص سبزی‌کاری و تولید گل زه‌کشی شده است. بعضی از هیستوسول‌ها اراضی بسیار پرتولید را شامل می‌باشند اما سرشت مواد آلی نیازمند دادن آهک، کود و کشت‌وکار و زه‌کشی بسیار متفاوت با ۱۱ رده‌ی دیگر خاک می‌باشد.

اگر نباتات دیگری غیراز گیاهان مناطق مرطوب در این اراضی کشت شوند باید سطح ایستابی برای تهویه در منطقه ریشه نبات پایین برده شود. این عملیات درواقع سبب تغییرمحیط خاک و اکسایش موادآلی و ازبین‌رفتن حدود۵ سانتی‌متر خاک درهرسال در اقالیم گرم می‌شود (شکل۲۷-۱۲) برای کاهش هدررفت منابع باارزش خاک و ممانعت از تشدید اثرات گلخانه‌ای غیرضروری(بخش۱۱-۱۲ را مطالعه کنید) سطح آب زیرزمینی در هیستوسول‌های زیر جنگل وکشاورزی باید از آنچه که برای تنفس ریشه ضرورت دارد پایین‌تر برده نشوند. راهکار پایدار دیگر برگشت دادن بعضی از اراضی هیستوسول به شرایط اراضی مرطوب اولیه آن‌ها می‌باشد (بخش ۸-۷ را مشاهده کنید).

در بعضی جاها اراضی هیستوسول به خاطر پیت مورد حفاری قرار گرفته و پیت به‌عنوان ، خاک‌پوش و پیت فیبری برای محیط‌های کشت گلدانی مورد خرید و فروش قرار می‌گیرد. رسوبات پیت به‌عنوان سوخت در بعضی از کشورها به‌خصوص روسیه در نیروگاه‌های متعدد مورد استفاده قرار می‌گیرند.



شکل ۱٤-۳ نیمرخ یک هیستوسول زه‌کشی‌شده در نیویورک که بر روی آن‌ها پیاز کشت شده است. خاک آلی بر روی مواد دریاچه‌ای (لاکسترین) معدنی قرار گرفته است.

۱۰-۳ اریدی‌سول‌ها (خاک‌های مناطق خشک)

شامل زیرراسته‌های Argids (دارای کانی‌های رسی)، Calcids (دارای کربنات)، Cambids (خاک‌های شاخص)، Cryids (خاک‌های مناطق سرد)، Durids (خاک‌های دارای سخت‌لایه)، Gypsids (خاک‌های دارای گچ) و Salids (خاک‌های شور) می‌باشد. اریدی‌سول‌ها خاک‌های خشک می‌باشند این راسته به‌استثنای آنتی‌سول‌ها در مقیاس جهانی سطح بیشتری را از سایر رده‌ها اشغال کرده است. کمبود آب خصوصیت عمده این خاک‌ها بوده و برای ۹۰ روز متوالی میزان رطوبت خاک برای رشد گیاه کافی نمی‌باشد. پوشش طبیعی این

خاک‌ها را بوته‌های بیابانی و علف‌های کوتاه تشکیل داده است، خصوصیات خاک به‌ویژه در افق‌های سطحی در اراضی لخت بین مناطق پوشش دار و خود مناطق پوشش دار دارای تفاوت آشکار می‌باشند (بخش ۱٤-۲ را مطالعه کنید).

مشخصه اریدی‌سول‌ها وجود یک اپی‌پدون اکریک است که معمولاً دارای رنگ روشن و مواد آلی کم می‌باشد (تابلو رنگی ۳) فرایند تشکیل خاک در اریدی‌سول‌ها شامل توزیع مجدد مواد محلول است اما به خاطر نبود آب برای آبشویی کامل آن‌ها تراکم بعدی آن‌ها به‌مقدار کمتر در خاکرخ می‌باشد. این خاک‌ها ممکن‌است دارای افق تراکم کربنات کلسیم (افق کلسیک)، گچ (افق جیپسیک) نمک‌های محلول (افق سالیک) و یا سدیم قابل تبادل (افق ناتریک) باشند. در تحت شرایط خاصی کربنات‌ها ممکن‌است به‌صورت سیمانی ذرات خاک و مواد درشت را در خاکرخ به‌هم چسبانده و لایه سختی را به اسم پتروکلسیک ایجاد کنند (شکل ۱۵-۳) این سخت لایه از رشد ریشه نبات ممانعت کرده و هزینه پی‌کنی ساختمان‌ها را بالا می‌برد.

بعضی از اریدی‌سول‌ها (ارجیدها) دارای افق ارجلیک هستند که احتمالاً درطی اقلیم مرطوب‌تر که مدت‌ها قبل دربسیاری از اراضی کویری امروزی غالب بوده است ایجاد شده‌اند. با گذشت زمان و افزایش کربنات‌های موجود در گرد و غبار آهکی و سایر منابع، بسیاری از افق‌های ارجلیک به‌وسیله‌ی کربنات‌ها در بر گرفته شده‌اند (کلسیدها). در اراضی مرتفع‌تر که در معرض فرسایش می‌باشند امکان تشکیل افق ارجلیک ضعیف بوده و خاک‌های غالب اکثراً کمبیدها (اریدی‌سول‌ها با افق زیرزمینی ضعیف کمبیک B) هستند.

در خاک‌های سنگ‌ریزه‌دار، فرسایش ممکن‌است تمام ذرات ریز را از لایه‌های سطحی جدا کرده و لایه‌ای از قلوه‌سنگ‌های گردشده به‌وسیله‌ی باد را برجای بگذارد که به آن سنگ‌فرش بیابانی گفته می‌شود (شکل ۱۵-۳ را مشاهده کنید) سطوح قلوه‌سنگ‌های سنگ‌فرش بیابانی دارای لایه براق است که به آن جلای بیابان گفته می‌شود که به‌نظر می‌رسد به‌وسیله‌ی جلبک‌هایی ایجاد می‌شوند که آهن و منگنز را از کانی خارج کرده و یک پوشش اکسیدی بر روی قلوه‌سنگ‌ها به‌جای می‌گذارند.

لایه‌های خاک به‌جز درمواردی که آبیاری می‌شوند و یا آب زیرزمینی وجود دارد برای مدت کوتاهی از سال مرطوب می‌باشند این دوره‌های کوتاه مرطوب ممکن‌است برای رشد بوته‌های سازگار بیابانی و گیاهان یکساله کافی باشد، اما برای تولید محصولات زراعی بسنده نیست. اگر آب زیرزمینی در نزدیکی سطح خاک باشد نمک‌های محلول ممکن‌است در لایه‌های بالایی چنان تراکم یابند که اکثر محصولات کشاورزی نتوانند آن‌را تحمل کنند.

توزیع اریدی‌سول‌ها و کاربرد آن‌ها

حدود ۱۲٪ سطح اراضی در جهان و۹٪ در آمریکا تحت اریدی‌سول طبقه‌بندی شده‌اند آن‌ها عمدتاً در اراضی عمده در بخش غربی کشور آمریکا غالب می‌باشد. سطح بزرگی از اریدی‌سول‌ها تحت نام ارجید (از کلمه‌ی لاتین Argilla به‌معنی رس) که دارای افق تجمع رس می‌باشد بخش اعظم ایالت‌های کالیفرنیا، نوادا، آریزونا و نیومکزیکوی مرکزی را تسخیر کرده‌است (پیوست الف). ارجیدها همچنین به‌طرف عرض جغرافیایی پایین تا داخل مکزیک شمالی پیش‌روی کرده است مناطق کوچک‌تری از کمبیدها (خاک‌های اریدی‌سول بدون افق ارجلیک و یا ناتریک) در ایالت‌های متعدد در غرب آمریکا وجود دارند (تابلو رنگی ۳ را مشاهده کنید).

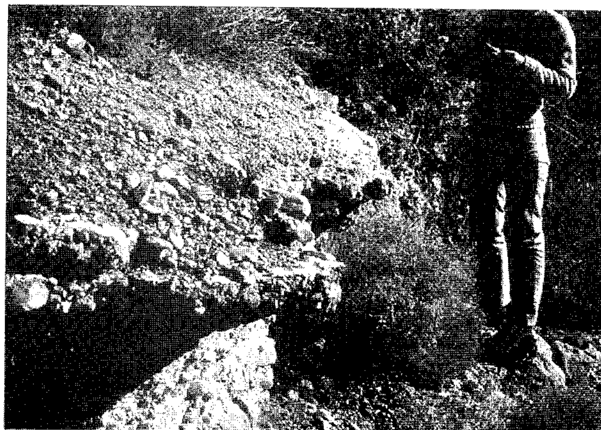
اراضی وسیعی از اریدی‌سول‌ها در بیابان صحرا در آفریقا، بیابان گبی و تکلامکان در چین و بیابان ترکمنستان در کشور اتحاد جماهیر شوروی سابق وجود دارند. بیشتر اراضی استرالیای جنوبی و استرالیای مرکزی اریدی‌سول می‌باشند. این خاک‌ها در آرژانتین جنوبی، آفریقای جنوب‌غربی، پاکستان و کشورهای خاورمیانه نیز وجود دارند.

بدون آبیاری اریدی‌سول‌ها برای کشت نباتات زراعی مناسب نمی‌باشند و در بعضی از مناطق برای چرای گوسفند و بز مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما تولید در واحد سطح اراضی پایین است. چرای بی‌رویه اریدی‌سول‌ها سبب افزایش عدم تجانس در خاک‌ها و پوشش گیاهی می‌شود. حیوانات پوشش نسبتاً یکنواخت گیاهان خوش‌خوراک را مورد چرا قرار می‌دهند، گیاهان نامرغوب مورد چرا قرار نگرفته از نظر رقابت برتری می‌یابند. بوته‌های پراکنده با علف‌های مرتعی برای کسب آب و عناصر غذایی رقابت می‌کنند و اراضی که زمانی تحت پوشش مرتع‌بودند لخت می‌شوند و خاک‌ها در بین بوته‌های پراکنده در معرض فرسایش بادهای بیابانی و رگبارها قرار می‌گیرند. بیابانی‌شدن اراضی نیمه صحرایی در آفریقا و آمریکای غربی شواهدی براین تخریب می‌باشند (شکل ۱٦-۳).

گیاهان خشکی‌پسند[1] مانند جوجوبا[2] برای تولید کالاهای مورد مصرف صنایع مانند روغن و کائوچو در اریدی‌سول‌ها کاشته می‌شوند. درصورت وجود آب برای آبیاری و کودهای شیمیایی، خاک‌های اریدی‌سول می‌توانند بسیار پرتولید باشند. دره‌های مورد آبیاری در مناطق

1 - Xerophytic plans
2 - Jojoba

خشک دارای بالاترین توان تولید در جهان می‌باشند گرچه برای جلوگیری از تراکم نمک‌های محلول باید به‌دقت تحت مدیریت قرار گیرند(فصل ۱۰ را مشاهده کنید).





شکل ۱۵-۳ دو چهره که شاخص بعضی از اریدی‌سول‌ها می‌باشند (چپ) قلوه‌سنگ‌های گردشده، به‌وسیله‌ی باد سبب ایجاد سنگفرش بیابانی نموده است. (راست) یک افق پترو کلسیک سیمانی‌شده به‌وسیله‌ی کربنات کلسیم.

۱۱-۳ ورتی‌سول‌ها (رس‌های منبسط‌شونده‌ی سیاه رنگ)

شامل زیرراسته‌های **Aquerts** (خیس)، **Cryerts** (سرد)، **Torrerts** (گرم و خشک)، **Uderts** (مرطوب)، **Usterts** (خشک مرطوب)، و **Xererts** (تابستان‌های خشک و زمستان‌های مرطوب) می‌باشد.

فرایند اصلی موثر در تکامل خاک در ورتی‌سول‌ها انقباض و انبساط رس به‌دلیل وقوع دوره‌های خشک و مرطوب متناوب می‌باشد. ورتی‌سول‌ها دارای مقدار زیادی (۳۰٪ <)از رس‌های چسبنده دارای خصوصیت انقباض و انبساط می‌باشد که تا عمق یک متر وبیشتر گسترش یافته‌اند. اکثر ورتی‌سول‌ها تیره‌رنگ، حتی سیاه می‌باشند، که تا عمق ۱متر و بیشتر ادامه دارد.(تابلو رنگی ۱۲). هرچند بر خلاف اکثر خاک‌ها، رنگ تیره در ورتی‌سول‌ها ضرورتاً بیانگر مقدار ماده‌ی آلی بالا نمی‌باشد. ماده‌ی آلی ورتی‌سول‌های تیره‌رنگ به‌طور شاخص از مقدار بالای ٦-٥ درصد تا مقدار اندک ۱ درصد متغیر است.

ورتی‌سول‌ها عمدتاً از سنگ آهک، بازالت و یا سایر مواد مادری سرشار از کلسیم و منیزیم تشکیل شده‌اند در آفریقای شرقی آن‌ها در زمین‌نمای اراضی پست که کلسیم و منیزیم آبشویی شده از اراضی اطراف را جمع می‌کنند تشکیل می‌شوند. حضور این کاتیون‌ها ایجاد رس‌های منبسط شونده را تقویت می‌کنند (بخش ٦-٨ را مشاهده کنید).



شکل ١٦-٣ چرای احشام در خاک‌های اریدی‌سول گرچه امکان‌پذیر است اما اریدی‌سول مورد چرا قرار گرفته به‌طور بی‌رویه درمعرض فرسایش باد و آب قرار خواهند گرفت. این خندق در طول باران‌های نادر اما سنگین در منطقه اریزونا ایجاد گردیده است که زمانی از گیاهان بیابانی متراکم مانند کیسه‌داران قلیایی[1] و پیچک پشه[2] پوشیده شده بود اما در اثر چرای بی‌رویه نابود شده‌اند.

---

[1] - Alkali saccation
[2] - Uine mesquib

ورتی‌سول‌ها عمدتاً در مناطق نیمه مرطوب و نیمه‌خشک در مناطق گرم یافت می‌شوند اما تعداد قلیلی (کریرت‌ها) در مناطقی‌که متوسط دمای سالانه به صفر می‌رسد (شکل ۷-۳ را مشاهده کنید) نیز یافت وجود دارند. پوشش بومی ورتی‌سول‌ها معمولاً چمن‌زار می‌باشد. ورتی‌سول‌ها معمولاً در اقالیمی یافت می‌شوند که دوره‌های خشک به‌مدت چند ماه دوام دارند. در فصول خشک رس انقباض یافته و سبب ایجاد ترک‌های عمیق و عریض در خاک‌ها می‌شود که چهره‌ی مشخصه‌ی این خاک‌ها می‌باشد(شکل۱۷-۳). خاک سطحی معمولاً دارای ساختمان خاکدانه‌ای بوده که از آن‌ها مقدار زیادی به‌داخل ترک‌ها ریزش می‌کنند و سبب زیروروشدن نسبی خاک (شکل ۱۸-۳) می‌شوند. این فرایند با واژه‌ی زیروروشدن[1]، که راسته نام خود را از آن گرفته است تطابق دارد. وقتی‌که باران می‌آید آب وارد ترک‌های بزرگ شده و سبب مرطوب‌گشتن رس در طبقات زیرین و انبساط آن‌ها می‌شود. انبساط و انقباض مکرر رس‌های زیرزمینی سبب ایجاد یک نوع حرکت غیرقابل مشاهده کُند رفت‌وبرگشت در توده‌های عظیم خاک می‌گردد. با انبساط خاک عمقی قطعاتی از خاک از توده جدا شده و بر روی همدیگر با فشار ساییده می‌شوند که سبب ایجاد یک سطح جهش‌دار مورب براق به اسم اسلیکن سایدز[2] (شکل ۱۹-۳) گردد. نهایتاً این حرکت رفت و برگشتی ممکن‌است گودی‌های کاسه مانند را با خاکرخ‌های نسبتاً عمیق ایجاد می‌کنند که به‌وسیله‌ی مناطق نسبتاً برآمده احاطه شده که در آن‌ها تکامل خاکرخ اندک و مواد مادری درسطح باقی می‌مانند (شکل ۱۸-۳ را مشاهده کنید). به ریزبلندی‌ها[3] و ریزچاله‌های[4] باقیمانده در سطح خاک گلیگایی[5] گفته می‌شود و معمولاً در خاک‌های ورتی‌سول که تحت خاک‌ورزی قرار نگرفته‌اند قابل مشاهده می‌باشند.



شکل ۱۷-۳ ترک‌های گشاد در فصول خشک در لایه‌های سطحی این خاک ورتی‌سول در هندوستان تشکیل شده است. مواد سطحی می‌توانند از توده‌ی خاک جدا شده و داخل این ترک‌ها گردیده و به عمق حرکت کنند. وقتی بارندگی شروع می‌شود آب می‌تواند به‌سرعت به افق‌های پایین حرکت کند. اما ترک‌ها بزودی مسدود شده و سبب غیرقابل نفوذشدن خاک برای آب می‌شوند.

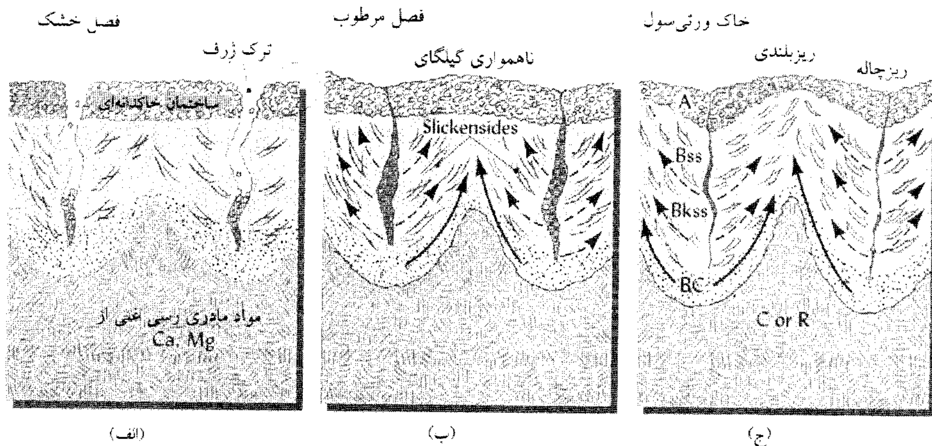
توزیع و نحوه‌ی استفاده از ورتی‌سول‌ها

در مقیاس جهانی، ورتی‌سول‌ها حدود ۲/۵ درصد سطح خاک‌ها را اشغال کرده‌اند. در هندوستان، اتیوپی، سودان و استرالیای شمالی و شرقی مناطق بزرگی از ورتی‌سول یافت می‌شوند (پشت‌جلد را نگاه کنید). مناطق کوچک‌تری در جنوب صحرای آفریقا، مکزیک، ونزویلا، بولیوی وپاراگوا! یافت می‌شوند. خاک‌های اخیر احتمالاً به‌خاطر دوام شرایط خشک در مدت زمان قابل ملاحظه‌ای برای بازماندن ترک‌های گشاد به‌مدت ۳ ماه و بیشتر در زیررده‌ی Usterts و Xererts قرار می‌گیرند.

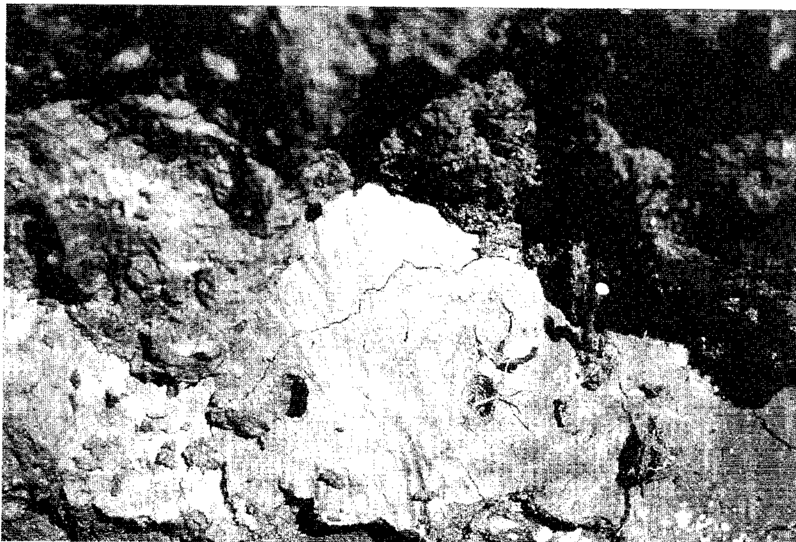
---

1 - Invert
2 - Slickenside
3 - Microhight
4 - Microlow
5 - Gilgai

مناطق کوچک متعدد اما مهمی از خاک‌های ورتی‌سول در آمریکا یافت می‌شود (شکل ۱۸-۳) آن‌ها کمتر از ۲ درصد اراضی را شامل می‌گردند. دو منطقه از اراضی مرطوب، یکی در می‌سی‌سی‌پی شرقی و آلابامای غربی که منطقه کمربند سیاه نامیده می‌شوند و دیگری در امتداد مرز جنوب شرقی تگزاس توزیع یافته‌اند. این خاک‌ها در زیر رده ادرت (مرطوب) قرار دارند، چه‌به‌دلیل شرایط رطوبتی آن‌ها از باقی ماندن ترک‌ها برای بیشتر از ۳ ماه ممانعت می‌کند.



شکل ۱۸-۳ ورتی‌سول‌ها دارای مقادیر زیادی رس‌های متورم شونده بوده و سبب ایجاد واحدهای ساختمانی گوه‌ای در افق‌های زیرین می‌شود. (الف) در طول فصل خشک ترک‌های بزرگ براثر انقباض رس در اثر خشک‌شدن به‌وجود می‌آیند. بعضی از ذرات خاکدانه‌ای سطحی براثر باد و یا حرکت حیوانات به‌داخل ترک‌ها ریزش می‌کنند و این عمل سبب مخلوط‌شدن نسبی و زیرورو‌شدن افق‌ها می‌گردد. (ب) در طول فصول مرطوب آب ناشی از باران به‌داخل ترک‌ها فرو می‌ریزد و خاک را اول در نزدیک کف ترک‌ها و سپس تمام خاکرخ مرطوب می‌سازد. با جذب آب، رس منبسط شده و ترک‌ها بسته می‌شوند و سبب محبوس‌ماندن خاکدانه‌های جمع شده می‌گردد. افزایش حجم خاک سبب حرکت جانبی و فوقانی توده‌ی خاک می‌شود. خاک در بین مناطق ترک خورده بالا می‌آید. وقتی توده‌ی خاک زیرین در اثر فشار دچار تنش گردد، سطوح صاف براق و یا اسلیکن ساید تشکیل می‌شود. (ج) این فرایند سبب ایجاد یک خاکرخ ورتی‌سول می‌شود که به‌طور شاخص دارای گلیگای، ترک‌های بیش از ۱ متر عمق و اسلیکن سایدز در افق **Bss** می‌باشد. سخت دانه‌های کربنات کلسیم اغلب در افق **Bkss** تراکم می‌یابند.



شکل ۱۹-۳ نمونه‌ای از سطوح براق در ورتی‌سول‌ها. ساییده‌شدن قطعات بزرگ خاک بر روی همدیگر در عکس‌العمل به رس‌های منبسط‌شونده این ظاهر براق را به‌وجود آورده است. سخت‌دانه‌های سفید کانی‌های کربناته حاکی از وضعیت بازی بالای این خاک‌ها می‌باشد.

دو منطقه‌ی دیگر ورتی‌سول‌ها در شرق منطقه‌ی مرکزی و تگزاس جنوبی که خاک‌ها خشک‌تر می‌باشند توزیع یافته است. از آن‌جاکه ترک‌ها برای مدت بیشتر از سه ماه در خاک‌های این مناطق باز باقی می‌مانند، خاک‌ها در تحت رده‌ی **Usterts** (از کلمه‌ی لاتین **Ustus** به‌معنی سوخته شده) قرار می‌گیرند که مشخصه‌ی اراضی آن‌ها تابستان‌های گرم خشک می‌باشد. منطقه‌ای از کریریت‌ها (از کلمه‌ی **Kros** به‌معنی سرد) در داکوتاها و ساسکا جوان دیده می‌شود. زیر رده‌ی زررت (از کلمه‌ی **Xeros** به‌معنی خشک) در کالیفرنیا قرار گرفته است.

به‌خاطر خصوصیات انقباض و انبساط شدید آن‌ها (شکل ۲۰-۸)، این خاک‌ها برای ایجاد هر نوع شالوده‌ی ساختمانی و بستر جاده‌ها مناسب نمی‌باشند. آن‌ها در حالت تر چسبنده و شکل‌پذیر بوده و در حالت خشک سخت می‌باشند به این دلیل طول مدت زمانی که این خاک‌ها می‌توانند مورد شخم و عملیات خاک‌ورزی قرار گیرند بسیار محدود است و سبب می‌شود که عملیات کشاورزی در آن‌ها مشکل انجام گیرد. بعضی از زراعین به این خاک‌ها، خاک‌های ۲۴ ساعته می‌گویند زیرا آن‌ها برای شخم در یک روز بسیار مرطوب و در روز بعد خیلی خشک می‌باشند.

دراین خاک‌ها حتی وقتی میزان رطوبت خاک در حد بهینه باشد میزان انرژی لازم برای خاک‌ورزی زیاد است. بنابراین به‌جز مواردی‌که تجهیزات سنگین برای انجام خاک‌ورزی مورد استفاده قرار گیرند، سرعت انجام عملیات کند است و مقدار زمینی که زارع در مقایسه با خاک سایر راسته‌ها می‌تواند شخم بزند بسیار کمتر می‌باشد. در مناطقی مانند هندوستان و سودان که حیوانات کم تحرک و نیروی انسان برای عملیات خاک‌ورزی مورد استفاده می‌باشد زارعین نمی‌توانند عملیات خاک‌ورزی را به‌موقع انجام دهند، بنابراین مجبور به استفاده از ادوات کوچک خاک‌ورزی می‌باشند که حیوانات بتواند آنرا از داخل خاک سنگین حرکت دهند.

تحقیقات جدید مشخص کرده است که مناطق گسترده‌ای از ورتی‌سول‌ها در مناطق گرمسیر می‌توانند با اعمال عملیات پیشرفته سبب استحصال عملکرد زیادی در محصولات کشاورزی گردند. خاک‌ها در این راسته به تخریب‌های فیزیکی و فرسایش خاک (به‌رغم شیب اصلی اندک آن‌ها) بسیار حساس می‌باشند و عملیات حفاظتی و یا برگشت دادن آن‌ها به زیر مرتع گزینه‌های مهمی هستند که باید مورد ملاحظه قرار گیرند.

۱۲-۳ مولی‌سول‌ها (خاک‌های سیاه رنگ نرم چمن‌زارها)

شامل زیرراسته‌های **Albolls** (دارای افق البیک)، **Aquoll** (مرطوب)، **Cryolls** (خیلی سرد)، **Rendolls** (کربناته)، **Udolls** (مرطوب)، **Ustolls** (مرطوب / خشک)، **Xerolls** (تابستان خشک ، زمستان مرطوب) می‌باشند.

فرایند اصلی در تشکیل مولی‌سول‌ها تراکم ماده‌ی آلی سرشار از کلسیم می‌باشد که عمدتاً از نظام ریشه‌ی متراکم گیاهان چمنی در تشکیل یک افق سطحی ضخیم نرم مولیک که مشخصه‌ی این رده است حاصل می‌شود (تابلو رنگی شماره ۸) این افق سطحی سرشار از هموس اغلب دارای عمق ۸۰-۶۰ سانتی‌متر بوده و سرشار از کلسیم و منیزیم می‌باشد. ظرفیت تبادل کاتیونی آن بیشتر از ۵۰ درصد به‌وسیله‌ی کاتیون‌های بازی (K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}) اشباع شده است. مولی‌سول‌ها در مناطق مرطوب معمولاً دارای افق مالیک با درصد ماده‌ی آلی بیشتر، رنگ تیره‌تر و ضخامت بیشتر از رژیم‌هایی کم رطوبت می‌باشند. (بخش ۱۰-۱۲ را مشاهده کنید).

افق سطحی معمولاً دارای ساختمان دانه‌دانه‌ای و یا اسفنجی بوده که حاصل ماده‌ی آلی و رس‌های متورم شونده می‌باشد. خاکدانه‌ها وقتی خاک خشک است سخت نمی‌باشند و این کاربرد نام مولی‌سول را که به‌معنی نرم است، توجیه می‌کند (جدول ٤-۳). علاوه بر اپی‌پدون مالیک، مولی‌سول‌ها ممکن‌است دارای افق‌های تحت الارضی ارجلیک، ناتریک و یا آلبیک باشند. اما نمی‌توانند دارای افق اکسیک و اسپودیک باشند.

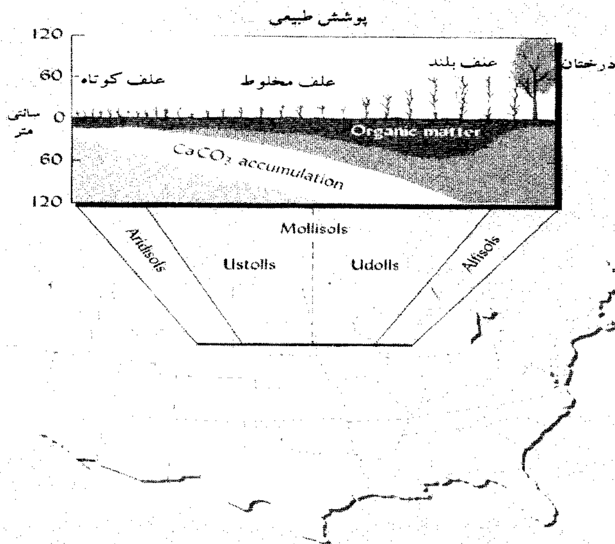
بیشتر مولی‌سول‌ها در زیر پوشش علفی تکامل‌یافته‌اند (شکل ۲۰-۳). خاک‌های چمن‌زارهای مرکزی آمریکا که در بین اریدی‌سول‌ها در غرب و الفی‌سول‌ها در شرق قرار گرفته‌اند هسته‌ی مرکزی این رده را تشکیل می‌دهند، هرچند تعداد معدودی از خاک‌ها که در زیر پوشش جنگلی (عمدتاً در فروافتادگی‌ها) بوده و دارای افق مالیک می‌باشند جزء مولی‌سول‌ها به حساب می‌آیند.

توزیع و طرز استفاده

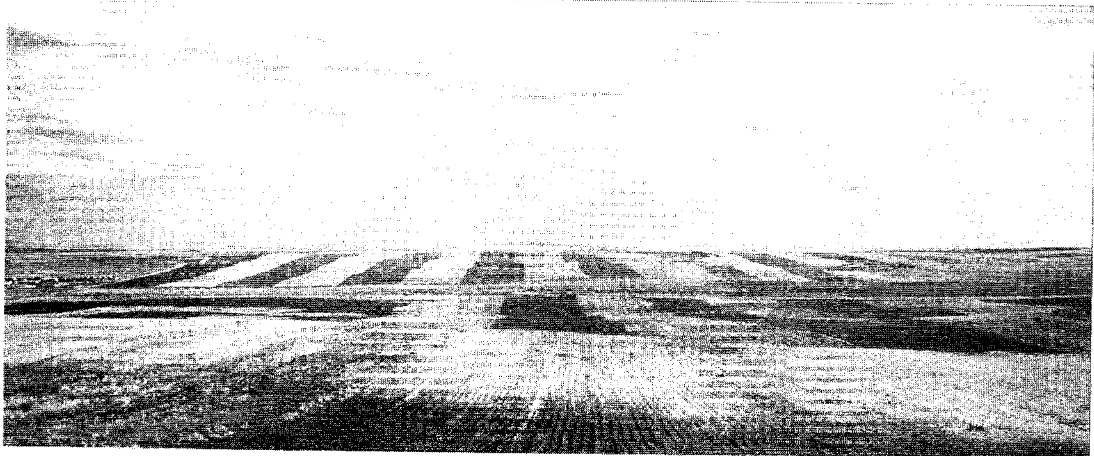
مولی‌سول‌ها در آمریکا سطح بیشتری را نسبت به سایر راسته‌ها پوشش داده است (حدود ۲۲ درصد) جدول ۵-۳ را مشاهده کنید. مولی‌سول‌ها در ایالت‌های واقع در دشت‌های بزرگ آمریکا و ایلی‌نوی غالب می‌باشند (شکل ۸-۳). هنگامی‌که رطوبت خاک عامل محدودکننده نیست اودول‌ها یافت می‌شوند. این خاک‌ها با مولی‌سول‌های مرطوب مجاور که آکول نامیده می‌شوند همراه می‌باشند. منطقه‌ای که شاخص استول‌ها (در طول تابستان به‌طور متناوب خشک می‌باشد) است از مانی‌توبا[1] و ساس‌کاچوان[2] در کانادا تا تگزاس جنوبی گسترش یافته است. دورتر در غرب مناطق وسیعی از زرول‌ها (رژیم رطوبتی زریک) وجود دارند. اراضی معمول اودول‌ها و استول‌ها را

[1] - Manitoba
[2] - Saskatchewan

می‌توان در شکل ۲۱-۳ مشاهده کرد. حفاظت آب خاک یک مسئله‌ی عمده به‌خصوص در مدیریت استول‌ها می‌باشد. دو خاکرخ مولی‌سول در شکل ۲۲-۳ آمده است.



شکل ۲۰-۳ رابطه‌ی بین پوشش طبیعی علف‌زار و رده‌های خاص خاک که به‌صورت یک نمودار برای برشی از قلمرو شمال آمریکای مرکزی آمده است. عامل تعیین‌کننده البته اقلیم است. توجه داشته باشید که هرچه از مناطق خشک در غرب به طرف مناطق مرطوب‌تر در شرق که خاک‌های علف‌زار حاکم است پیشروی کنیم عمق افق ماده‌ی آلی و به‌همین ترتیب عمق لایه کربنات کلسیم بیشتر خواهد شد. الفی‌سول‌ها در تحت پوشش علف‌زارها نیز تکامل می‌یابند. اما اغلب در زیر جنگل واقع شده و دارای افق‌های روشن‌تری می‌باشند.

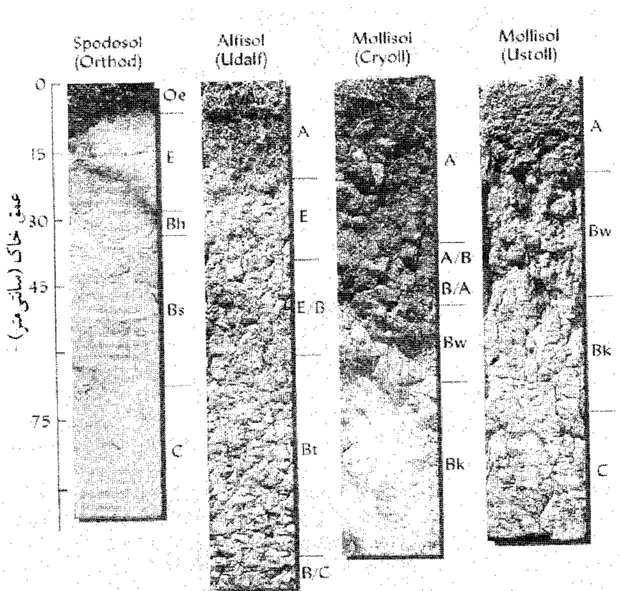




شکل ۲۱-۳ زمین‌نمای اراضی شاخص که به‌وسیله‌ی استول‌ها (بالا) و ادول‌ها (زیر) غالب می‌باشند. این خاک‌های حاصلخیز اکثر غذا و علوفه را در آمریکا تولید می‌کنند.

گسترده‌ترین اراضی مولی‌سول درخارج از آمریکا در قلب کشورهای قزاقستان، اکراین و روسیه از شرق به غرب گسترش یافته است. دیگر اراضی مولی‌سول در مغولستان، چین شمالی، آرژانتین شمالی، پاراگوئه قرار گرفته‌اند. گرچه مولی‌سول‌ها فقط ۷ درصد مساحت خاک‌های جهان را اشغال کرده‌اند. اما به‌خاطر حاصلخیزی طبیعی آن‌ها درصد بیشتری از تولید محصولات کشاورزی را به‌عهده دارند.

در آمریکا تلاش‌هایی برای حفظ بقایای محدود بوم‌سامان علف‌زارهای وسیع و گسترده سابق در حال انجام است. به خاطر حاصلخیزی طبیعی بالای مولی‌سول‌ها، که آن‌ها را در جرگه پرتولیدترین خاک‌های جهان قرار می‌دهد، مولی‌سول‌های اندکی در نقاطی که بارندگی برای تولید محصولات کافی است کشت نشده باقی مانده‌اند. وقتی این مولی‌سول‌ها اول بار آباد شده و بزیر کشت برده‌شدند اکثر ماده‌ی آلی طبیعی آن‌ها اکسیده شده و سبب آزادشدن نیتروژن وسایر عناصر غذایی به‌مقدار کافی برای تولید عملکردهای بالا، حتی بدون مصرف کود گردید. بعد از یک قرن کشت‌وکار مولی‌سول‌ها هنوز در بین پرتولیدترین خاک‌ها قرار دارند. گرچه مصرف کود در آن‌ها معمولاً لازم می‌باشد. کشت‌وکار مداوم در محصولات ردیفی سبب تخریب ساختمان خاک و فرسایش آن درمناطق شیب‌دار گردیده‌است.



شکل ۲۲-۳ منولیت خاکرخ‌هایی که معرف سه راسته‌ی خاک می‌باشند. اسامی زیرراسته‌ها در بین دو کمان آمده است. اسامی افق‌های توارثی (نه تشخیصی) نیز داده شده است. توجه کنید که افق اسپودیک در اسپدوسول به‌واسطه‌ی تراکم هموس (Bh) و آهن ((Bs مشخص شده‌اند. در الفی‌سول افق آبشویی رس (Bt) و در مولی‌سول افق ساختمانیB یا (Bw) وجود دارد. افق ضخیم سطحی تیره (افق مالیک سطحی) هر دو مولی‌سول را مشخص می‌سازد. توجه کنید منطقه تراکم کلسیم (Bk) در زیر رده‌ی استول که در اقلیم خشک تکامل‌یافته نزدیک سطح خاک قرار دارد. افق E/B دارای خصوصیات هر دو افق E و B می‌باشد.

۳-۱۳ الفی‌سول‌ها(با افق ارجلیک و یا ناتریک، ودرصد اشباع بازی متوسط تا زیاد)

شامل زیرراسته‌های **Aqualfs** (خیس)، **Cryalfs** (سرد)، **Udalfs** (مرطوب)، **Ustalfs** (مرطوب / خشک) و **Xeralfs** (تابستان‌های خشک و زمستان‌های مرطوب) می‌باشند.

به‌نظر می‌رسد الفی‌سول‌ها بسیار شدیدتر از خاک‌هایی که قبلاً مورد بحث قرار گرفت ولی کمتر از اسپدوسول‌ها در معرض هوادیدگی قرار گرفته‌اند (مباحث زیر را مشاهده کنید). آن‌ها در مناطق سرد تا گرم مرطوب (شکل ۷-۳ را مشاهده کنید) یافت می‌شوند. اما در اقالیم نیمه‌خشک حاره‌ای و مدیترانه‌ای نیز وجود دارند. الفی‌سول‌ها اغلب در زیر جنگل‌های برگ‌ریزان بومی تکامل می‌یابند گرچه در کالیفرنیا و بخش‌هایی از آفریقا چمن‌زارهای ساوانا پوشش بومی آن‌ها می‌باشد.

الفی‌سول‌ها به‌وسیله‌ی افق تشخیصی زیرین که در آن رس‌های سیلیکاتی براثر آبشویی از طبقه‌ی بالا تجمع یافته‌اند مشخص می‌شود (تابلو رنگی ۱ را مشاهده کنید). پوشش رسی و دیگر علایم حرکت رس در افقی مانند B وجود دارد (تابلو رنگی ۲۳ را مشاهده کنید). در آلفی‌سول‌ها این افق سرشار از رس فقط به‌طور متوسط آبشویی‌شده و ۳۵٪ ظرفیت تبادل کاتیونی آن به‌وسیله‌ی کاتیون‌های تشکیل‌دهنده باز(Mg^{2+} , Ca^{2+} و غیره) اشباع شده است. در اکثر الفی‌سول‌ها این افق به خاطر رس‌های سیلیکاتی ارجلیک نامیده می‌شود، درصورتی‌که علاوه بر تراکم رس، اگر این افق تشخیصی زیرین دارای بیشتر از ۱۵ درصد سدیم قابل تعویض و ساختمان منشوری و یا ستونی باشد (شکل ۱۱-۴ را مشاهده کنید) افق ناتریک نامیده می‌شود. در بعضی از الفی‌سول‌ها در مناطق نیمه مرطوب حاره‌ای افق تراکم رس افق کندیک[1] نامیده می‌شود. زیرا رس دارای ظرفیت تبادل کاتیونی اندکی می‌باشد.

[1] - Kandic

الفی‌سول‌ها به ندرت دارای افق سطحی مالیک می‌باشند زیرا این خاک‌ها در زیرراسته ارجی‌ادول[1] و سایر زیرراسته‌های رده‌های مولی‌سول که دارای افق ارجلیک هستند، قرار می‌گیرند. در عوض الفی‌سول به‌طور شاخص دارای افق نسبتاً نازک سطحی اکریک خاکستری تا قهوه‌ای (تابلو رنگی ۱) ویا افق سطحی آمبریک می‌باشد. الفی‌سول‌هایی‌که زیر درختان برگ‌ریزان معتدل تشکیل شده‌اند معمولاً دارای افق البیک (E) شسته شده بلافاصله در زیر افق A می‌باشد (شکل ۳-۱ و ۲۲-۳).

توزیع و طرز استفاده

حدود ۱٤ درصد مساحت اراضی امریکا و ۱۰ درصد سطح جهان تحت راسته‌ی الفی‌سول طبقه‌بندی شده است (جدول ٦-۳). الفی‌سول‌ها به‌وسیله‌ی یدالف (رژیم یدیک به‌معنی مرطوب) در ایالت‌های اوهایو، میشیگان، ویسکانسین، مینی‌سوتا، پنسیلوانیا و نیویورک (شکل ۸-۳) و همین‌طور در چین مرکزی انگلستان، فرانسه، اروپای مرکزی و استرالیای جنوبی وجود دارند. مقدار قابل توجهی اراضی در زیر رده‌ی زرالف در کالیفرنیای مرکزی، استرالیای جنوب غربی، ایتالیا، اسپانیای مرکزی و پرتقال(شکل ۲۳-۳) یافت می‌شوند. کریالف‌ها در منطقه‌ی کوه‌های راکی، کانادای جنوب مرکزی، شمال اروپا از بالتیک تا روسیه غربی و سیبری توزیع یافته‌اند. استالف‌ها در مناطق با تابستان گرم مانند تگزاس و نیومکزیکو، مناطق جنوب‌صحرای آفریقا، برزیل شرقی، هندوستان شرقی و آسیای جنوب شرقی غالب می‌باشند. اکوالف‌های مرطوب در فروافتادگی‌های مرطوب یافت می‌شوند.



شکل ۲۳-۳ یک زمین‌نما در جنوب کشور پرتقال که در آن زرالف‌ها غالب می‌باشند. اکثر جنگل اولیه تراشیده شده و خاک‌ها را برای کشت غلات زمستانه و انگور شخم زده‌اند.

الفی‌سول‌ها به‌طور کلی خاک‌های حاصلخیزی می‌باشند. رشد خوب درختان جنگلی سخت چوب و عملکرد محصولات زراعی وابسته به درصد اشباع بازی متوسط تا بالا، بافت مناسب و قرارگرفتن در مناطقی با بارندگی کافی (به‌استثنای زرالف‌ها) حداقل در بخشی از سال برای رشد نبات می‌باشد. در ایالات متحده این خاک‌ها از نظر ظرفیت تولید دهی مشابه مولی‌سول‌ها والتی‌سول‌ها می‌باشند. بسیاری از الفی‌سول‌ها به‌خصوص آن‌هایی که دارای بافت سبک‌تر (شنی‌تر) هستند درصورت از بین‌رفتن لاشبرگ بر روی آن‌ها به فرسایش آبی براثر باران‌های سنگین بسیار حساس می‌باشند. الفی‌سول‌ها در رژیم رطوبتی یودیک اسیدی بوده و نیازمند مواد اصلاح‌کننده‌ی سنگ آهک برای بسیاری از نباتات می‌باشند (فصل ۹ را مشاهده کنید).

۱٤-۳ التی‌سول‌ها (با افق ارجلیک و باز کم)

شامل زیر رده‌های **Aquults** (خیس)، **Humults** (هموس زیاد)، **Udults** (مرطوب)،**Ustults** (تناوب خشکی و رطوبت) و **Xerults** (تابستان‌های خشک و زمستان‌های مرطوب).

فرایند اصلی در تشکیل التی‌سول‌ها عبارت‌است از هوادیدگی کانی رس، جابه‌جایی رس‌ها برای تجمع در یک افق ارجلیک و یا کندیک و آبشویی کاتیون‌های تشکیل دهنده باز از خاکرخ. اکثر التی‌سول‌ها تحت شرایط مرطوب در اقالیم گرم حاره‌ای ایجاد شده‌اند. التی‌سول‌ها در سطح اراضی قدیمی معمولاً زیر پوشش جنگل ایجاد شده گرچه پوشش ساوانا و حتی پوشش باتلاقی نیز معمول می‌باشد.

---

[1] - Argiudolls

آن‌ها معمولاً دارای یک افق سطحی اکریک و یا آمبریک بوده اما به‌وسیله‌ی یک افق B اسیدی مشخص می‌شوند که در آن کمتر از ۳۵ درصد از ظرفیت تبادل کاتیونی به‌وسیله‌ی کاتیون‌های بازی اشغال شده است. تراکم رس ممکن‌است به‌صورت یک افق ارجلیک بوده و یا اگر رس دارای فعالیت پایین باشد یک افق کاندیک را تشکیل دهد. در التی‌سول‌ها هم افق سطحی و هم افق زیرزمینی معمولاً اسیدی بوده و دارای عناصر غذایی اندک می‌باشد.

التی‌سول‌ها در مقایسه با الفی‌سول‌ها بیشتر هوادیده و اسیدی می‌باشند اما از اسپدوسول‌ها کمتر اسیدی و از اکسی‌سول‌ها به‌مراتب کمتر هوادیده‌اند. به‌استثنای اعضاء مرطوب راسته، افق‌های زیرزمینی آن‌ها اغلب از نظر رنگ قرمز و یا زرد بوده که دلالت بر تجمع اکسیدهای آهن دارد (تابلو رنگی ۱۱ را مشاهده کنید). التی‌سول‌های خاص که تحت نوسانات رطوبت ایجاد شده‌اند دارای لایه‌های منقوط سرشار از آهن می‌باشند که به آن‌ها پلینتایت[1] (تابلو رنگی ۱۵ را مشاهده کنید) گفته می‌شود. این مواد نرم بوده و مادامی‌که مرطوب باشند به آسانی می‌توانند حفاری گردند. پلینتایت وقتی در هوا خشک شود به‌طور غیرقابل‌برگشتی به‌صورت سنگ آهن سخت می‌شود، که عملاً برای کشت‌وکار بی‌فایده است. اما، می‌تواند برای ایجاد آجرهای محکم برای ساختمان‌سازی مورد استفاده قرار گیرد.

توزیع و استفاده از التی‌سول‌ها

حدود ۹ درصد از سطح کشور آمریکا و سطح جهان در رده‌ی التی‌سول طبقه‌بندی می‌شوند. اکثر خاک‌های بخش جنوب شرقی آمریکا در زیر رده اودولت (شکل ۸-۳ و ضمیمه‌ی الف را نگاه کنید) قرار می‌گیرند. اراضی وسیعی از ادولت‌ها نیز در جنوب شرقی آسیا و جنوب چین وجود دارند. اراضی وسیعی از اولتی‌سول‌ها در اقالیم گرم و مرطوب در ارتباط نزدیک با اکسی‌سول‌ها هستند. اراضی مهم کشاورزی تحت این رده در جنوب برزیل و پاراگوئه قرار گرفته‌اند.

هومولت‌ها (ماده‌ی آلی زیاد) در آمریکا در ایالت‌های هاوایی و غرب کالیفرنیای ، اورگن و واشنگتن وجود دارند. هومولت‌ها همچنین در اراضی مرتفع کشورهای حاره‌ای وجود دارند. زرالت‌ها (التی‌سول‌های اقلیم مدیترانه ای) به‌طور محلی در جنوب اورگن و شمال و شرق کالیفرنیا وجود دارند. استولت‌ها در مناطق نیمه‌خشک با یک اقلیم مشخص خشک وجود دارند. استولت‌ها همراه با استالف‌ها مناطق وسیعی را در آفریقا و هندوستان شامل می‌گردند. التی‌سول‌ها در سواحل شرقی و شمال شرقی استرالیا غالب می‌باشند.

التی‌سول‌ها گرچه به‌طور طبیعی همانند الفی‌سول‌ها ویا مولی‌سول‌ها حاصلخیز نمی‌باشند اما به مدیریت مناسب، عالی جواب می‌دهند. آن‌ها اغلب در مناطقی که دارای فصل طولانی رشد و رطوبت کافی برای تولید خوب محصول می‌باشند قرار گرفته‌اند (شکل ۲۴-۳). رس‌های سیلیکاتی التی‌سول‌ها معمولاً از نوع غیرچسبنده بوده که همراه با حضور اکسیدهای آهن و آلومینیوم سهولت کشت‌وکار را تضمین می‌کنند.



شکل ۲۴-۳ خاک‌ها در این منطقه حاره‌ای مرتفع در آسیای جنوبی آلتی‌سول و در زیر رده هومولت می‌باشند این خاک‌ها به‌طور وسیع برای ایجاد خانه و باغ‌های تجاری مورد استفاده قرار گرفته‌اند. ترکیب اقلیم مناسب و خاک‌های سرشار از ماده‌ی آلی (هومولت‌ها حداقل دارای ۹ درصد ماده آلی در بخش فوقانی افق B می‌باشند) و عکس‌العمل خوب به کود شیمیایی سبب تشویق ساکنان محلی برای استفاده از هر قطعه کوچک زمین برای تولید سبزی‌ها و تقویت درآمد آن‌ها گردیده است.

[1] - Plinthite

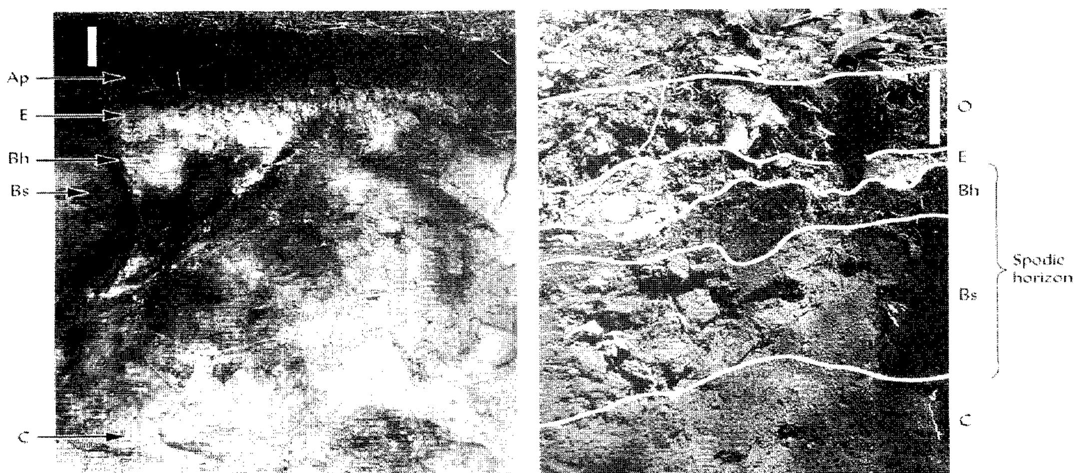
وقتی مقادیر کافی کود وآهک مصرف شود، التی‌سول‌ها کاملاً پرتولید خواهند بود. در ایالات متحده اولتی‌سول‌های با مدیریت خـوب با مولی‌سول‌ها و آلفی‌سول‌ها به‌عنوان خاک‌های کشاورزی کلاس درجه یک رقابت می‌کنند. آنها اکثر جنگل‌های نرم چوب و سخت چوب پرتولید تجاری کشور را شامل می‌باشند.

۱۵-۳ اسپدوسول‌ها(خاک‌های اسیدی شنی جنگلی، با درصد اشباع بازی پایین)

شامل زیرراسته‌های Aquods (خیس)Humods (هموسی) Cryods (سرد یخی)Orthods (معمولی) می‌باشد.

اسپدوسول‌ها عمدتاً در مواد مادری بافت درشت اسیدی که در معرض آبشویی هستند، یافت می‌شوند. آنها فقط در مناطق مرطـوب و خیس که سرد و یا معتدل می‌باشند قرار دارند (شکل ۷-۳ را مشاهده کنید)، اما در بعضی مناطق حاره‌ای و شبه حاره‌ای نیز وجـود دارنـد. آبشویی شدید اسیدی فرایند اصلی تشکیل خاک است. اسپدوسول‌ها خاک‌های معدنی با افق اسپدیک هستند که در آنها تجمع ماده‌ی آلـی آبشویی شده و تجمع اکسیدهای آلومینیوم با و یا بدون اکسید آهن در طبقات تحت الارض معمول مـی‌باشـد (تـابلو ۱۰ و شـکل ۲۲-۳ را مشاهده کنید). این افق معمولاً نازک و تیره تجمع مواد (ایلوویال[1]) به‌طور شاخص در زیر یک افق البیک شسته‌شده (ئیلوویـال[2]) بـا رنـگ خاکستری روشن قرار دارد.

اسپدوسول‌ها در زیر پوشش جنگلی به‌وجود می‌آیند، به‌خصوص در زیر گونه‌های سوزنی‌برگ که برگ‌های آنها از کاتیون‌هـای بـازی مانند کلسیم فقیر بوده و از رزین‌های اسیدی سرشار می‌باشد. وقتی لاشبرگ اسیدی تجزیه می‌یابد ترکیبات آلی شدیداً اسیدی آزاد گردیده و به‌وسیله‌ی آب نافذ عمقی به داخل خاکرخ نفوذپذیر حمل می‌شود. این اسیدها با آهن و آلومینیوم پیوند ایجاد کرده و آنها را به‌طرف پایین حمل می‌کند تا این‌که در افق اسپدیک ته‌نشین گردند. همین‌طور، ترکیبات آلی محلول به‌طرف پایین حرکت کرده وبر روی ترکیبات آهن و آلومینیوم رسوب یافته و یا با آنها مخلوط می‌شود. اکثر کانی‌ها غیراز کوارتز به‌وسیله‌ی آبشویی اسیدی خارج گشته و معمولاً سبب از بـین بردن مواد رنگین از افق E می‌شوند. در عمق بیشتر خاکرخ، اکسیدهای آهن و آلومینیوم ته‌نشین‌شده تشکیل افق Bs اسپودیک می‌دهنـد کـه اغلب دارای رنگ قهوه‌ای مایل‌به قرمز هستند. ترکیبات آلی آبشویی‌شده ممکن‌است رسوب یافته و تشکیل افق تیره رنگ اسپدیک Bh کنند. ته‌نشینی معمولاً در طول جبهه رطوبتی مواج صورت می‌گیرد و بنابراین سبب ایجاد خاکرخ‌های اسپدیک بسیار چشمگیر مـی‌شـوند (شـکل ۲۵-۳). عمق این فرایندهای آبشویی و هوادیدگی و یا افق اسپدیک می‌تواند از ۲۰ سانتی‌متر تا چند متر متغیرباشد.



شکل ۲۵-۳ خاکرخ دو اسپدوسول در دماغه بالایی میشگان (چپ) نشان‌دهنده یک افق نسبتاً عمیق بسیار مواج اسپودیک در زیر افق البیک ناپیوسته می‌باشد. این خاکرخ دارای یک افق اکریک Ap یکنواخت می‌باشد که بیانگر آن است که جنگل‌تراشی شده و شخم خورده‌اند اسپدوسول در کبک (راست) دارای افق کم عمق اسپدیک و افق دست نخورده می‌باشد که از برگ‌های سوزنی‌برگ‌ها در مراحل مختلف پوسیدن تشکیل شده است همان‌طورکه شاخص اسپدوسول‌ها است هر دو خاک شنی خیلی اسیدی بوده و برای جنگل سوزنی‌برگان، که در تشکیل آنها مؤثر هستند بسیار مناسب می‌باشند. میله موجود در هر عکس ۱۰ سانتی‌متر است.

[1] - Illuvial
[2] - Eluvial

توزیع و استفاده

اراضی وسیعی از اسپدوسول‌ها در اروپای شمالی، روسیه و کانادای مرکزی و شرقی یافت می‌شوند. بسیاری از خاک‌ها در شمال شرقی آمریکا و همین‌طور در شمال میشگان و ویسکانسین و جنوب آلاسکای به این رده تعلق دارند (شکل‌های ۸-۳ و ۲۵-۳ را مشاهده کنید) اسپدوسول‌ها ۳ درصد اراضی جهان و آمریکا را تشکیل می‌دهند. اراضی کوچک اما مهمی در بخش جنوبی آمریکای جنوبی و اراضی خنک کوهستانی در مناطق معتدل وجود دارند.

اکثر اسپدوسول‌ها ارتد، می‌باشند که مفهوم اصلی اسپدوسول‌ها، را که قبلاً بیان شده در بر می‌گیرند. بعضی دیگر اکود می‌باشند زیر آن‌ها به‌طور فصلی از آب اشباع بوده و دارای خصوصیاتی هستند که همراه با این مرطوب‌بودن می‌باشد. اراضی مهمی از اکودها در فلوریدا و سایر مناطق با اقلیم گرم یافت می‌شوند.

اسپدوسول‌ها به‌طور طبیعی حاصلخیز نمی‌باشند،وقتی به‌طور مناسب کود داده شوند این خاک‌ها می‌توانند پرتولید گردند. برای نمونه اکثر خاک‌های تولید سیب‌زمینی در ماین شمالی[1] اسپدوسول می‌باشند. بعضی از خاک‌های تولید سبزی‌ها و میوه‌ها در فلوریدا، میشگان و ویسکانسین نیز اسپدوسول می‌باشند. به‌دلیل طبیعت شنی آن‌ها و قرارگرفتن در مناطق پرباران مشخص شده‌است که آلودگی آب زیرزمینی در اثر آبشویی کودهای محلول و آفت‌کش‌ها وقتی این خاک‌ها برای تولید نباتات زراعی مورداستفاده قرارمی‌گیرند، مسئله‌ی مهمی می‌باشد. آن‌ها در حال حاضر عمدتاً زیر پوشش جنگل می‌باشند، پوششی که اول تحت آن‌ها تکوین یافته‌اند، اکثر اسپدوسول‌ها باید به‌صورت سکونت‌گاه‌های جنگلی باقی بمانند. به‌خاطر این‌که آن‌ها کاملاً اسیدی بوده و از نظر بافری ضعیف می‌باشند، در بسیاری از اسپدوسول‌ها و دریاچه‌های موجود در حوزه‌های آبخیز که تحت غلبه این رده‌ی خاک قرار دارند به خسارات ناشی از باران اسیدی حساس می‌باشند (فصل ٦-۹ را ملاحظه کنید).

۱٦-۳ اکسی‌سول‌ها(خاک‌های دارای افق اکسیک، با هوادیدگی شدید)

شامل زیرراسته‌های Aquox (خیس)، Perox (خیلی مرطوب)، Torrox (خشک گرم)، Udox (مرطوب)، Ustox (خشک/تر) می‌باشد.

اکسی‌سول‌ها هوازده‌ترین خاک‌ها در نظام طبقه‌بندی خاک می‌باشد (شکل ٦-۳ را مشاهده کنید). آن‌ها در اقالیم گرم با وجود رطوبت در سرتاسر سال تشکیل می‌شوند. بنابراین پوشش بومی معمولاً باید جنگل‌های حاره‌ای بارانی باشد. هرچند بعضی از اکسی‌سول‌ها (استوکس) امروزه در مناطقی یافت می‌شوند که بسیار خشک‌تر از زمانی می‌باشند که خاک‌ها خصوصیت اکسیک را پیدا کرده‌اند. مهمترین چهره‌ی تشخیصی آن‌ها یک افق زیرزمینی عمیق اکسیک است. این افق دارای مقدار زیادی ذرات در اندازه‌ی رس بوده و اکسیدهای آهن و آلومینیوم در آن‌ها غالب می‌باشد. هوادیدگی و آبشویی شدید سبب حذف بخش بزرگی از سیلیس از مواد سیلیسی در این افق شده است. مقداری کوارتز و سیلیکات‌های سیلیسی ۱:۱ باقی مانده اما هیدراکسیدها غالب می‌باشند (فصل ۸ را در مورد کانی‌های مختلف رس مشاهده کنید). افق تشخیصی سطحی در اکثر اکسی‌سول‌ها اکریک یا آمبریک می‌باشد. مرز بین افق‌های زیرزمینی نامشخص بوده و به خاک تحت الارض یک ظاهر یکنواخت را درطول عمق ارایه می‌دهد.

میزان رس اکسی‌سول‌ها معمولاً بالا است، اما رس‌ها از نوع غیرفعال و غیرچسبنده می‌باشند، بنابراین وقتی رس خشک می‌شود خاک سخت و کلوخه‌ای نیست و به آسانی قابل کشت‌وکار است. اکسی‌سول‌ها همچنین به تراکم مقاوم می‌باشند. بنابراین آب به آسانی از خاکرخ آن‌ها عبور می‌کند. عمق هوادیدگی در اکسی‌سول‌ها بسیار بیشتر از اکثر رده‌های دیگر است، ژرفای ۲۰ متر و بیشتر نیز مشاهده شده‌است. رس‌های غیرفعال دارای ظرفیت بسیار محدودی برای نگهداری کاتیون‌های غذایی مانند K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+} بوده،بنابراین آن‌ها به‌طور شاخص دارای حاصلخیزی طبیعی پایین و به‌طور متوسط اسیدی می‌باشند. غلظت بالای اکسیدهای آهن و آلومینیوم به این خاک‌ها ظرفیت لازم را برای ایجاد پیوند محکم با اندک فسفر موجود ارایه می‌دهد. کمبود فسفر اغلب سبب محدودیت رشد نبات پس از به‌هم‌خوردن پوشش طبیعی می‌شود.

ایجاد جاده و ساختمان در اکثر اکسی‌سول‌ها به آسانی انجام می‌شود زیرا این خاک‌ها به سادگی حفاری‌شده و انقباض و انبساط نمی‌یابند و در روی شیب‌ها پایدار می‌باشند. خاکدانه‌های پایدار در رس‌ها به‌وسیله‌ی ترکیبات آهن تقویت می‌شود و این خاک‌ها را به فرسایش کاملاً مقاوم می‌سازد.

---
[1] - Nothern mine

توزیع و طرز استفاده

اکسی‌سول‌ها در حدود ۸ درصد سطح زمین یافت می‌شوند (جدول ۵-۳ را مشاهده کنید). آن‌ها سطوح قدیمی را اشغال کرده و عمدتاً در مناطق حاره‌ای یافت می‌شوند. گرچه تقریباً تمام اکسی‌سول‌ها در مناطق حاره‌ای وجود دارند. اکثر خاک‌های مناطق حاره‌ای اکسی‌سول نمی‌باشند. اراضی وسیعی از اکسی‌سول‌ها در آمریکای جنوبی و آفریقا قرار دارند (عکس پشت جلد را مشاهده کنید).

اطلاعات جدید از دانشمندان علوم خاک برزیل مطرح می‌کنند که بعضی از اراضی حوزه‌ی آمازون که اخیراً اکسی‌سول طبقه‌بندی شده بودند. در واقع از التی‌سول‌ها و سایر خاک‌ها تشکیل شده‌اند. ادوکس (با فصل خشک کوتاه) در برزیل شمالی و کشورهای همجوار و همین‌طور منطقه‌ی کاراییب (تابلو رنگی ۹) یافت می‌شوند. اراضی عمده‌ای از استوکس (اکسی‌سول‌هایی که دارای تابستان‌های گرم و خشک می‌باشند) در برزیل و در جنوب ادوکس‌ها یافت می‌گردند. در مناطق مرطوب آفریقای مرکزی اکسی‌سول فراوان بوده و در بعضی موارد غالب می‌باشند.

درمقایسه با اکثر راسته‌های خاک، اطلاعات نسبتاً اندکی از اکسی‌سول‌ها در دست داریم. آن‌ها در یک منطقه‌ی جغرافیایی وسیع یافت می‌شوند و اکثراً همراه با اولتی‌سول‌ها می‌باشند. میلیون‌ها نفر در مناطق حاره‌ای برای فراهم‌کردن غذا و پوشاک وابسته به آن‌ها می‌باشند. به دلیل حاصلخیزی پایین اکثر اکسی‌سول‌ها زیر پوشش جنگل باقیمانده و یا به‌وسیله‌ی روش‌های کشاورزی نوبتی کشت و زرع می‌شوند، چرخه‌ی عناصر غذایی به‌وسیله‌ی درختان ریشه عمیق در توان تولید این خاک‌ها به‌خصوص مهم می‌باشند. احتمالاً بهترین استفاده از اکسی‌سول به غیراز جنگل بارانی، کشت گیاهان چند ساله با تاج پوشش مخلوط به‌خصوص درختان می‌باشد. این کشت‌ها سبب حفظ نظام چرخه‌ی عناصر غذایی است که قبل از قطع جنگل‌های بارانی روابط خاک و گیاه را مشخص می‌ساختند.

۱۷-۳ گروه‌های پایین در رده‌بندی خاک

زیرراسته‌ها

در داخل هر راسته‌ی خاک که در صفحات قبل تشریح گردید، خاک‌ها به زیرراسته‌ها (جدول ٦-۳) بر اساس خصوصیاتی از خاک که عمده‌ترین اثرات محیطی را بر فرایند جاری تشکیل خاک اعمال می‌کنند، گروه‌بندی می‌شوند. بسیاری از زیرراسته‌ها معرف رژیم رطوبتی و به‌ندرت رژیم دمایی مناطق می‌باشند که در آن‌ها خاک‌ها یافت می‌شوند بنابراین، خاک‌های تشکیل شده در شرایط مرطوب معمولاً در زیرراسته‌ی جداگانه‌ای مشخص می‌شوند (مانند اکونت‌ها، اکورت‌ها و اکویت‌ها) و همین‌طور خاک‌های خشکتر تحت زیرراسته‌های دیگری (مانند استالف، استلت) مشخص می‌شوند. برای تعیین رابطه بین نام زیرراسته‌ها و خصوصیات خاک به جدول ۷-۳ مراجعه کنید. در این جدول عناصر سازنده‌ی نام زیرراسته‌ها مشخص گشته و معنی ضمنی آن‌ها نیز داده شده است. بنابراین استول‌ها (از کلمه‌ی لاتین ustus به‌معنی سوخته) مولی‌سول‌های مناطق خشک می‌باشند و به‌همین ترتیب، خاک‌ها در راسته‌ی ادولت (از کلمه‌ی لاتین udus به‌معنی مرطوب) اولتی‌سول‌های مرطوب می‌باشند. تشخیص خصوصیات اصلی هر کدام از زیرراسته‌ها می‌تواند با مراجعه‌ی متقابل جداول ۷-۳ و ٦-۳ انجام گیرد.

جدول ٦-۳ رده‌ها و زیررده‌های طبقه‌بندی خاک (توجه کنید آخر اسامی زیررده‌ها، رده‌ای را که خاک‌ها در آن قرار دارند مشخص می‌سازد).

نام راسته	نام زیرراسته	نام راسته	نام زیرراسته
Entisols	Aquents/Arents/Fluents/Orthents /Psamments	Vertisols	Aquerts/Cryerts/Uderts/Usterts/Xererts
Inceptisols	Anthrepts/Aquepts/Cryepts /Udepts/Ustepts/Xerepts	Aridisols	Argids/Calcids/Cambids/Cryids/Durids/Gypsids /Salids
Mollisols	Albolls/Aquolls/Cryolls/ Rendolls /Udolls/Ustolls/Xerolls	Spodosols	Aquods/Cryods/Humods/Orthods
Alfisols	Aqualfs/Cryalfs/Udalfs/Ustalfs /Xeralfs	Histosols	Fibrist/Hemists/Saprists/Folists
Ultisols	Aquults/Humults/Udults/Ustults /Xerults	Andisols	Aquands/Cryands/Torrands/Udands/Ustands /Xerands/Vitrands
Oxisols	Aquox/Perox/Torrox/Udox/Ustox	Gelisols	Histels/Orthels/Turbels

جدول ۷-۳ عناصر تشکیل دهنده‌ی نام زیرراسته‌ها در نظام طبقه‌بندی خاک

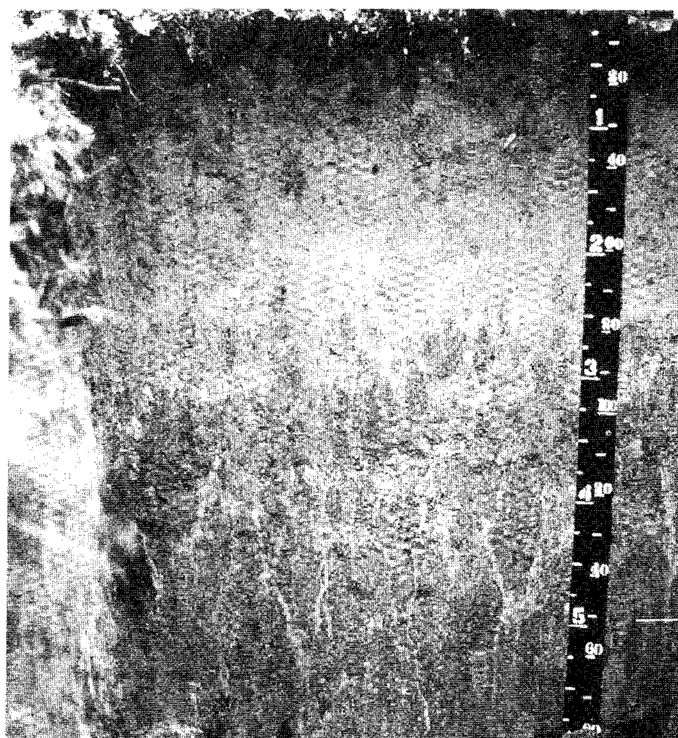
عنصر سازنده	منشاء	معنی ضمنی عنصر سازنده	عنصر سازنده	منشاء	معنی ضمنی عنصر سازنده
alb	albus سفید (لاتین)	حضور افق البیک یک افق شسته شده	hum	humus زمین(لاتین)	حضور ماده‌ی آلی
anthr	anthros انسان (یونانی)	حضور افق انتروپیک و یا پلاگن	ochr	ochr رنگ پریده (لاتین)	حضور اپی‌پدون اکریک (رنگ روشن)
aqua	aqua آب (لاتین)	خصوصیاتی که در ارتباط با تر و خیس‌شدن است	orth	orthos واقعی (یونانی)	نوع معمولی
ar	arare شخم زدن (لاتین)	افق‌های مخلوط شده	per	per تمام سال (لاتین)	در طول سال اقلیم مرطوب پریودیک
arg	argilla رس سفید(لاتین)	حضور افق ارجلیک (افق تجمع رس شسته شده)	psamm	psammos شن(یونانی)	بافت شنی
calc	calcis آهک (لاتین)	حضور افق کلسیک	rend	rendzina تغییر یافته از	شبیه rendzina از نظر کربناتها سرشار
camb	cambriare تغییر (لاتین)	حضور افق کمبیک	sal	sal نمک(لاتین)	حضور افق‌های سالید (شور)
cry	kryos سرد ـ یخی (یونانی)	مناطق سرد	sapr	sapros پوسیده یونانی	بیشترین تجزیه‌ی مواد آلی
dur	durus سخت (لاتین)	حضور سخت‌لایه ی سیلیسی (دوری‌پن)	torr	torridus گرم و خشک (لاتین)	معمولاً خشک
fibr	fibra رشته (لاتین)	مرحله‌ی کمترین تجزیه‌ی ماده‌ی آلی	turb	turbidus دست خورده (لاتین)	(کری توریشن) به‌هم‌خوردگی یخی
flur	fluvius رودخانه (لاتین)	سیلدشت	ud	udus مرطوب (لاتین)	مربوط به اقلیم مرطوب
fol	folia برگ (لاتین)	توده‌ی برگ	umbr	umbra سایه(لاتین)	حضور اپی‌پدون آمبریک(رنگ تیره)
gyps	gypsum گچ(لاتین)	حضور افق جیپسیک (گچی)	ust	ustus سوخته (لاتین)	اقلیم خشک معمولاً گرم در تابستان
hem	hemi نصف(یونانی)	مرحله‌ی میانی تجزیه و تخریب ماده‌ی آلی	vitr	vitreus شیشه (لاتین)	شبیه شیشه
hist	histos بافت (یونانی)	حضور اپی‌پدون هیستیک	xer	xeros خشک (یونانی)	تابستان‌های خشک زمستان‌های مرطوب

گروه‌های بزرگ خاک

گروه‌های بزرگ خاک تقسیمات فرعی زیر رده‌ها می‌باشند. بیشتر از ۲۴۰ گروه بزرگ مشخص شده است، آن‌ها عمدتاً بابودن و یا نبودن افق‌های مشخصه و ترتیب آن‌ها مشخص می‌شوند. این نام‌گذاری افق‌ها در فهرست عناصر تشکیل دهنده برای تعیین نام گروه‌های بزرگ در جدول ۸-۳ آمده است. توجه داشته‌باشید این عناصر تشکیل‌دهنده، به افق‌های سطحی مانند آمبریک، اکریک(جدول ۱-۳ و شکل ۲-۳ را مطالعه کنید) و به افق‌های زیرسطحی مانند ارجلیک، ناتریک و سخت‌کفه‌ها مانند دوری‌ین، فراجی‌پن اشاره دارد (شکل ۲۶-۳ را مشاهده کنید).

جدول ۸-۳ عناصر سازنده اسامی گروه‌های بزرگ و معنی ضمنی آن‌ها. این عناصر سازنده با اسامی مناسب زیر رده‌ها ترکیب شده و نام گروه‌های بزرگ خاک را ایجاد می‌کنند.

عنصر سازنده	معنی ضمنی	عنصر سازنده	معنی ضمنی	عنصر سازنده	معنی ضمنی
acr	هوادیدگی شدید	fol	توده‌ی برگی	plac	سخت کفه‌ی نازک
agr	افق اگریک	fragi	افق فراجی‌پن	plagg	افق پلاگن
al	آلومینیوم زیاد آهن کم	fragloss	فراجی و شیشه	plinth	پلینتایت
alb	افق البیک	fulv	افق ملاسک روشن	psamm	بافت شنی
and	شبیه Ando	gyps	افق گچی	quartz	درصد بالای کوارتز
anhy	بدون آب	gloss	زبانه	rhod	قرمز تیره
aqu	اشباع از آب	hal	نمکی	sal	افق سالیک
argi	افق ارجلیک	hapl	افق کمینه	sapr	بیشترین تجزیه
Calc,calci	افق کلسیک	hem	تجزیه متوسط	somb	افق تیره‌رنگ (سیاه)
camb	افق کمبیک	hist	حضور مواد آلی	sphagn	خزه‌ی اسفاگنوم
chrom	دارای کرومای بالا	hum	هموس	sulf	سولفور
cry	سرد	hydr	آب	torr	همیشه خشک و گرم
dur	افق دوری پن	kand	رس‌های ۱:۱ با فعالیت کم	ud	اقلیم مرطوب
dystr,dys	درصد اشباع بازی کم	lithic	نزدیک سنگ	umbr	اپی‌پدون آمبریک
endo	کاملاً اشباع از آب	luv و lu	مربوط به الوپال-آبرفت	ust	اقلیم خشک معمولاً گرم در تابستان
epi	سفره آب آویزان	melan	اپی‌پدون ملانیک	verm	مخلوط شده با حیوانات - کرم دار
eutr	درصد اشباع بازی زیاد	molli	اپی‌پدون مالیک	vitr	شیشه
ferr	آهن	natr	افق سدیمی	xer	فصل خشک سالانه
fibr	کمترین میزان تجزیه	pale	تکامل‌یافته در قدیم		
fluv	سیلدشت	petr	افق سیمانی شده		



شکل ۲۶-۳ یک فراجی اودالف جنگلی در ایالت میسوری. شامل یک فراجی‌پن خوب تکامل‌یافته با ساختمان منشوری که به‌وسیله پوشش خاکستری ناشی از خروج آهن مشخص شده است. فراجی پن (معمولاً افق‌های Bx و Cx)، فوق‌العاده متراکم و شکننده است. آن‌ها عمدتاً از لای با مقدار قابل ملاحظه‌ای شن اما نه با رس خیلی زیاد تشکیل شده‌اند. علامت مواجه‌شدن با افق فراجی‌پن در مزرعه عبارتست از صدای زنگ‌وار بیل در هنگام حفاری آن است. حفر یک فراجی‌پن همانند حفاری بتُن است، ریشه‌ی نباتات در این لایه نمی‌تواند انتشار یابد. اما هنگامی‌که یک قطعه فراجی‌پن با آب نرم‌وست می‌شود. با فشار دست می‌توان آنرا خرد کرد. این لایه شکل‌پذیر نبوده و دارای حالت شکننده است.

به‌خاطر داشته باشید که نام گروه‌های بزرگ خاک از این عناصر سازنده که به‌صورت پیشوند به اسامی زیرراسته‌ها که گروه بزرگ در آن واقع شده‌است، متصل گردیده و ساخته می‌شوند. بنابراین Ustolls با یک افق سرشار از سدیم (افق ناتریک) به گروه بزرگ Natrustolls تعلق دارد. همان‌طورکه از مثال موردبحث در تابلو ۱-۳ مشاهده می‌شود، تشریح خصوصیات خاک در سطح گروه بزرگ می‌تواند اطلاعات مهمی را ارایه دهد که در سطوح بالاتر و عمومی‌تر طبقه‌بندی مطرح نمی‌باشند.

اسامی گروه‌های بزرگ انتخاب‌شده از سه راسته در جدول ۹-۳ آمده است. این فهرست مفیدبودن رده‌بندی خاک به‌خصوص واژه‌های علمی به‌کارگرفته را مجدداً تشریح می‌کند. این اسامی نام زیرراسته و راسته‌ای که گروه بزرگ در آن یافت می‌شود مشخص می‌کند. بنابراین Argiudolls مولی‌سول‌هایی هستند در زیرراسته‌ی Udolls که به‌وسیله‌ی افق ارجلیک مشخص شده‌اند، مراجعه متقابل به جدول ۸-۳ خصوصیات خاصی که گروه‌های بزرگ را از همدیگر جدا می‌سازد مشخص می‌کند.

با توجه به جدول ۹-۳، تمام ترکیبات ممکن از پیشوند گروه‌های بزرگ و زیرگروه‌ها به‌کار نمی‌روند. در بعضی موارد یک ترکیب به‌خصوص موجود نمی‌باشد. برای مثال اکول‌ها در اراضی پست وجوددارند نه بر روی اراضی قدیمی. بنابراین Paleaquolls وجود ندارد. همچنین، ازآن‌جاکه تمام الفی‌سول‌ها و التی‌سول‌ها دارای افق ارجلیک می‌باشند استفاده از واژه‌هایی مانند Argiudults تکرار مکررات است.

جدول ۹-۳ مثال‌هایی از نام گروه‌های بزرگ زیرراسته‌های انتخابی مولی‌سول‌ها، الفی‌سول‌ها و التی‌سول‌ها

نام راسته و زیرراسته	افق ارجلیک	شکل معمول بدون چهره قابل تشخیصی	سطوح اراضی قدیم
مولی‌سول‌ها			--
۱- خیس Aquolls	Argiaquolls	Haplaquolls	--
۲- مرطوب Udolls	Argiudolls	Haplaudolls	Paleudolls
۳- خشک Ustolls	Argiustolls	Haplaustolls	Paleustolls
٤- مدیترانه‌ای Xerolls	Argixerolls	Haploxerolls	Palexerolls
الفی‌سول‌ها			
۱- خیس Aqualfs	--	--	--
۲- مرطوب Udalfs	--	Hapludalfs	Paleudalfs
۳- خشک Ustalfs	--	Haplustalfs	Paleustalfs
٤- مدیترانه‌ای Xeralfs	--	Haploxeralfs	Palexeralfs
التی‌سول‌ها			
۱- خیس Aquults	--	--	Paleaquults
۲- مرطوب Udults	--	Hapludults	Paleudults
۳- خشک Ustults	--	Haplustults	Paleustults
٤- مدیترانه‌ای Xerults	--	Haploxerults	Palexerults

زیرگروه‌های خاک[1]

زیرگروه‌ها تقسیمات فرعی گروه‌های بزرگ می‌باشند بیشتر از ۱۳۰۰ زیرگروه تشخیص داده شده است. زیرگروهی که مفاهیم اصلی یک گروه بزرگ را معرفی کند Typic نامیده می‌شود. بنابراین، Typic Hapludolls زیرگروهی است که گروه بزرگ Hapludolls را مشخص می‌کند. سایر زیرگروه‌ها ممکن‌است خصوصیاتی داشته باشند که در تلفیق با مفاهیم اصلی و خاک سایر راسته‌ها، زیرراسته‌ها و گروه‌ها قرار گیرد. یک Hapludolls با زه‌کشی محدود تحت عنوان Aquic Hapludolls طبقه‌بندی می‌شود. زیرگروهی با شواهد فعالیت زیاد کرم‌های خاکی تحت عنوان Vermic Hapludolls طبقه‌بندی می‌شوند. بعضی از تلفیق‌ها ممکن‌است دارای خصوصیاتی مشترک با سایر راسته‌ها و یا سایر گروه‌های بزرگ باشد. بنابراین، زیرگروه Entic Hapludolls یا مولی‌سول‌ها با تکامل ضعیف به تلفیق با Entisols متمایل است. مفهوم زیرگروه قابلیت انعطاف این نظام طبقه‌بندی را به‌خوبی تشریح می‌کند.

[1] - Sub groups

تابلو ۱-۳ گروه‌های بزرگ. فراجی‌پن‌ها و حفاری‌های باستان‌شناسی

رده‌بندی خاک یک وسیله‌ی ارتباط است که به دانشمندان و مدیران ارا ضی در مبادله‌ی اطلاعات یاری می‌رساند. در این تابلو ما خواهیم دید که چگونه طبقه‌بندی غلط، حتی در سطوح پایین رده‌بندی خاک مانند گروه بزرگ دارای هزینه‌های جانبی سنگین می‌باشد.

به‌خاطر حفظ میراث ملی، قوانین فدرال و ایالتی نیازمند یک بیانیه در مورد آثار باستانی قبل از اقدام به عملیات عمده ساختمانی می‌باشد. آثار باستانی معمولاً در سه مرحله ارزیابی می‌شوند. محل‌های انتخاب شده سپس به‌وسیله‌ی باستان‌شناسان با این امید مطالعه می‌شود که حداقل بعضی از کارهای دستی محافظت گردیده و قبل از این‌که فعالیت‌های ساختمانی آن‌ها را کاملاً معدوم سازد مورد تفسیر قرار گیرند. فقط محل‌های نسبتاً کوچکی می‌توانند به حفاری‌های واقعی باستان‌شناسی اختصاص یابند زیرا کارها مهارت یدی پرهزینه‌ای را می‌طلبد. (شکل ۲۷-۳).

چنین مطالعه آثار باستانی به‌عنوان یک پیش‌نیاز برای ساخت یک بزرگ‌راه جدید در ایالت‌های اتلانتیک میانی سفارش گردید. در مرحله‌ی اول، یک شرکت مشاوره اطلاعات خاک و سایر اطلاعات را از نقشه‌ی عکس‌های هوایی و مطالعات صحرایی برای تعیین این‌که انسان‌های نوسنگی در کجا مستقر شده‌اند، جمع‌آوری کرد. سپس مشاورین ۱۲ هکتار را تشخیص دادند که در آن‌ها دست‌ساخته‌هایی بیانگر فعالیت‌های مهم نوسنگی بود. خاک‌ها در یک منطقه عمدتاً به‌عنوان Typic Dystrudepts تشخیص داده شده بود. این خاک‌ها از مواد قدیمی آبرفت و کوهرفت که هزاران سال قبل در سواحل یک رودخانه قرار داشتند تشکیل شده بود. چندین خاکرخ شاهد خاک با حفر چاله‌ای به‌وسیله‌ی بیل مکانیکی مورد آزمایش قرار گرفت. افق‌های مختلف مورد تشریح قرار گرفت و مشخص شد در کدام افق مواد مصنوعی احتمالاً یافت خواهد شد. چیزی که مورد توجه قرار نگرفت وجود یک لایه فراجی‌پن متراکم شکننده بود که حفاری آن با وسایل دستی بسیار مشکل بود.

فراجی‌پن یک افق تشخیصی زیرزمینی است که برای طبقه‌بندی خاک معمولاً در سطح گروه بزرگ و یا زیرگروه مورد استفاده می‌باشند. (شکل ۱۶-۳ را مشاهده کنید). حضور آن سبب تمیز Fragiudepts از Dystrudepts می‌گردد.

هنگامی‌که وقت آن رسید حفاری دستی واقعی برای کشف مواد مصنوعی انجام شود با یک شرکت مشاور دوم قرار داد بسته شد. بدبختانه، پیشنهاد آن‌ها در قرارداد بر اساس تشریح خاکرخ خاک بود که در آن خاک‌ها به Frgiudept رده‌بندی نشده بود خاک‌های بسیار متراکم، شکننده سخت فراجی‌پن که می‌بایست با دست حفاری شوند. بنابراین مشکل این لایه بود که می‌بایست در آن‌ها با دست حفاری و غربال انجام گیرد که خود سبب ایجاد حدود یک میلیون دلار هزینه‌ی اضافی بود. لازم نیست گفته شود یک مجادله پیش آمد که آیا این هزینه باید به‌وسیله‌ی مهندسین مشاور، که پیشنهاد خود را براساس اطلاع غلط ارائه کرده بودند، ویا مهندسین مشاور اولیه که به‌طور کافی درتشریح حضورفراجی‌پن شکست خورده‌بودند، ویا شرکت سازنده‌ی بزرگ‌راه که هزینه‌ی مطالعات رافراهم کرده بود، پرداخت شود.

این داستان نمونه‌ای از اهمیت عملی طبقه‌بندی خاک را ارائه می‌دهد. حضور عنصر سازنده‌ی Fragi در اسم یک گروه بزرگ خاک، ما را از حضور یک لایه متراکم غیرقابل نفوذ آگاه خواهد داد که حفاری آن بسیار مشکل بوده و سبب محدودیت رشد ریشه نبات (اغلب سبب افتادن درخت در باد و یا رشد ریشه بسیار کم)، ایجاد یک سفره آویزان آب زیرزمینی (شرایط اپی اکوییک) و مزاحمت در نفوذ عمقی در یک میدان زه‌کشی فاضلاب خواهد شد.



شکل ۲۷-۳ یک چاله باستان شناسی

خانواده‌ها[1]: در داخل یک زیرگروه، اگر خاک‌ها در عمق مشخص دارای خصوصیات مشابه فیزیکی و شیمیایی مؤثر در رشد ریشه‌ی گیاهان باشند، در یک خانواده قرار می‌گیرند. حدود ۸۰۰۰ خانواده تشخیص داده شده است. استانداردهای به‌کاررفته شامل طبقات اندازه‌ی ذرات، کانی‌شناسی، تبادل کاتیونی رس فعال، دما و عمق قابل انتشار خاک به‌وسیله‌ی ریشه‌ی گیاه می‌باشد.

جدول ۱۰-۳ نمونه‌ای از کلاس‌های مورد استفاده را نشان می‌دهد (یک فهرست کامل در پیوست ب آمده است.) واژه‌هایی همچون Clayey, Sandy, Loamy برای تشخیص کلاس‌های کلی بافت به‌کار می‌روند. واژه‌های به‌کار رفته برای تشریح کلاس‌های کانی‌شناسی شامل Carbonatic ,Siliceous ,Kaolinitic ,Smectitic و Mixed می‌باشد.

رس‌ها به‌صورت Subactive ،active و Superactive در ارتباط با نگهداری کاتیون‌ها تقسیم می‌شوند. برای کلاس‌های دما واژه‌هایی مانند Mesic Cryic, و Thermic به‌کار می‌رود. واژه‌هایی Shallowو Micro بعضی مواقع در سطح خانواده برای بیان عمق‌های غیرمعمول خاک به‌کار می‌رود. بنابراین، یک زیرگروه Typic Argiudolls در ایالت ایوا که دارای بافت لومی و مخلوط کانی‌های رسی با میانگین دمای سالانه (درعمق ۵۰سانتی‌متری خاک) بین ۸ تا ۱۵ درجه سانتیگراد باشد در خانواده‌های Typic Argiudolls,loamy, mixed, active mesic طبقه‌بندی می‌شود در مقابل یک خاک بافت شنی Typic Haplorthods که دارای درصد کوارتز بالا بوده و در یک منطقه سرد در کانادا قرار گرفته است به‌صورت خانواده‌ی Typic Haplorthods, sandy, siliceous, frigid طبقه‌بندی می‌شود (توجه کنید که کلاس‌های فعالیت رس برای خاک‌ها در کلاس بافت Sandy کاربرد ندارد).

جدول ۱۰-۳ مثال‌هایی از اندازه‌ی ذرات ، کانی‌شناسی و دما که در تفکیک خانواده‌ها به‌کار می‌رود.
این خصوصیات معمولاً مربوط به خاک زیرین ویا عمق ۵۰ سانتی‌متری است. سایر معیارها که برای جداکردن خانواده خاک به‌کار می‌روند (اما در این‌جا نشان داده نشده‌است)، شامل حضور خصوصیات آهکی ویا سمیت خیلی‌زیاد آلومینیوم (allic)، عمق فوق‌العاده کم (Shalliw ویا Mieru) درجه‌ی سیمانی‌شدن، پوشش روی دانه‌های شن و حضور ترک‌های دایمی می‌باشد.

کلاس اندازه ذرات	کلاس کانی‌شناسی	کلاس فعالیت تبادل کاتیونی(ب)		کلاس رژیم دمایی		
		واژه‌ها	CEC / درصد رس	C° میانگین دمای سالانه	6 C°< تفاوت زمستان با تابستان	6 C°> تفاوت تابستان با زمستان
Ashy	Mixed	Superactive	۰/۶	<-۱۰	Hypergelic (ج)	--
Fragmental	Micaceous	Active	۰/۴-۰/۶	-۱۰ تا -۴	Pergelic (ج)	--
Sandy (الف) skeletal	Siliceous	Semiactive	۰/۲۴-۰/۴	-۴ تا +۱	Subgelic	--
Sandy	Kaolinitic	Subactive	<۰/۲۴	<+۸	Cryic	--
Loamy	Smectitic			<+۸	Frigid(د)	Isofrigid
Clayey	Gibbsitic			+۸ تا +۱۵	Mesic	Isomesic
Fine-silty	Gypsic			+۱۵ تا +۲۲	Thermic	Isothermic
Fine-loamy	Carbonic			> +۲۲	Hyperthermic	Isohyperthermic
Etc.	Etc.					

الف : Skeletal عبارتست از وجود بیش از ۳۵ ٪ حجمی قطعات سنگی.

ب : برای رده‌های دارای CEC پایین کلاس فعالیت کاتیون (گروه‌های اکسیک و کاندیک) مصرف نمی‌شود.

ج : یخ‌بندان دایمی.

د : Frigid در تابستان گرمتر از Cryic است.

[1] - Families

سری‌های خاک

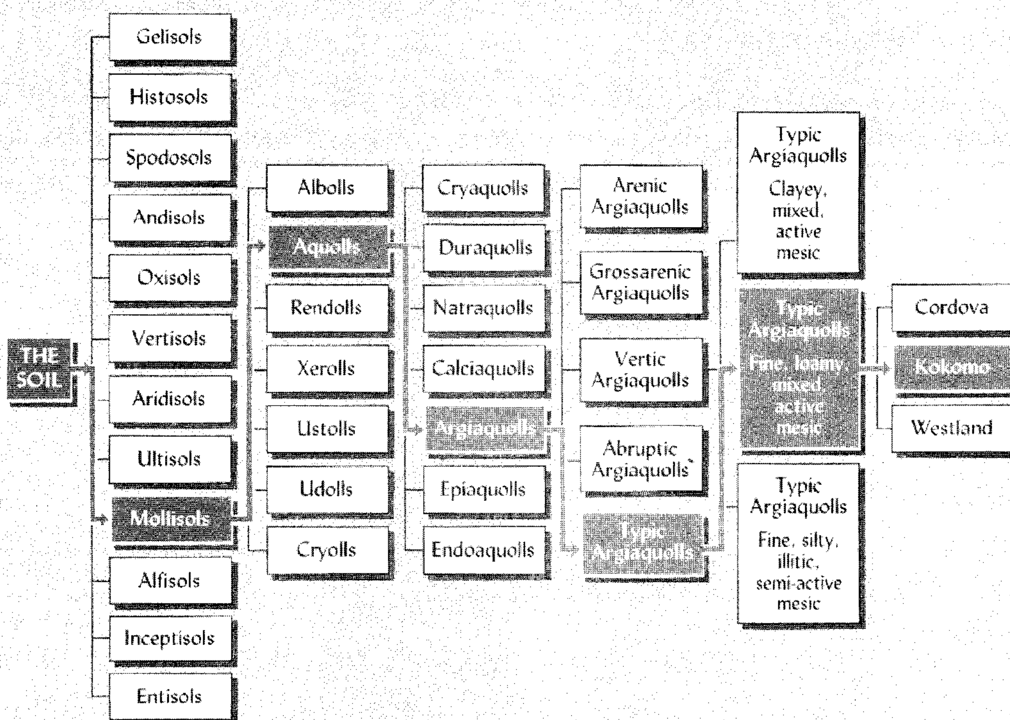
سری خاک اختصاصی‌ترین واحد نظام طبقه‌بندی بوده و از تقسیمات خانواده و پایین‌ترین گروه در نظام طبقه‌بندی می‌باشد. هر سری به‌وسیله‌ی دامنه‌ی خاصی از ویژگی‌های خاک، که عمدتاً شامل نوع، ضخامت و ترتیب افق‌ها است مشخص می‌شود. چهره‌هایی مانند سخت لایه‌ها در فاصله‌ی خاص در زیر سطح، یک منطقه‌ی مشخص تراکم کربنات کلسیم در عمق ویژه و یا خصوصیات بارز رنگ در تشخیص سری‌ها بسیار کمک می‌کنند.

در ایالات متحده‌ی آمریکا به هر سری نامی داده می‌شود که معمولاً از اسم شهر، دهکده، رودخانه، ناحیه مانند **Cecil** ،**Fargo**، **Muscatine** ،**Mohave** و یا **Ontario** ناشی می‌شود. بیشتر از ۱۹۰۰۰ سری خاک در ایالات متحده وجود دارد.

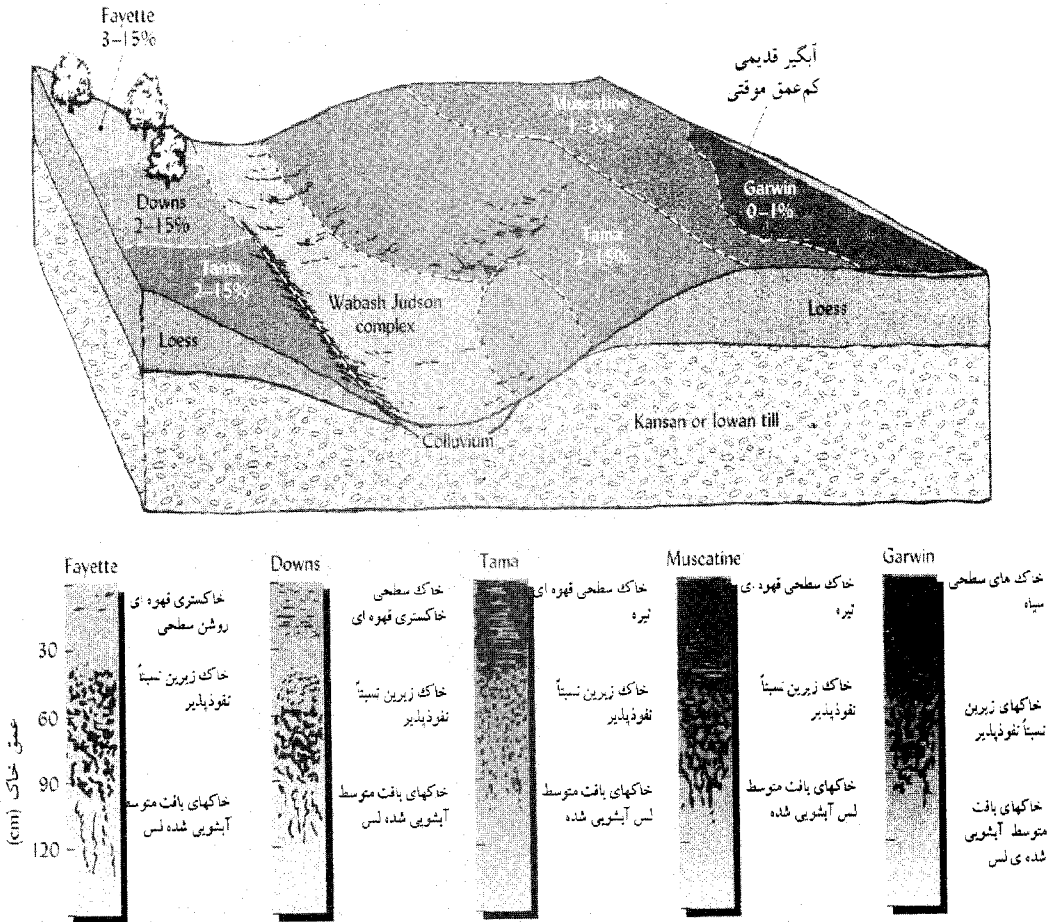
طبقه‌بندی کامل خاک‌های مولی‌سول سری **Kokomo** در شکل ۲۸-۳ داده شده است. این شکل تشریح می‌کند که چگونه رده‌بندی خاک می‌تواند برای نشان‌دادن رابطه‌ی بین خاک که یک واژه‌ی جامع دربرگیرنده‌ی تمام خاک‌ها است با یک سری خاص مورد استفاده قرار گیرد. این شکل نیازمند مطالعه‌ی بیشتر می‌باشد. زیرا، اطلاعات بسیارزیادی را درمورد ساختار و استفاده از رده‌بندی آشکار می‌سازد.

موقعیت صحرایی

در بررسی واحدهای مختلف نظام رده‌بندی خاک ما به این حقیقت که خاک‌ها در صحرا در کنار هم قرار گرفته‌اند اشاره اندکی داشته‌ایم یک قطعه‌ی کوچک زمین حتی در اندازه چند هکتار، به‌نظر می‌رسد که انواع مختلفی از خاک را دارا باشد. در روی نقشه، خاک‌شناسی آن‌ها به‌صورت سری‌های متفاوت مشخص می‌شوند. در روی نقشه خاک‌شناسی تفصیلی، واحدهای نقشه بر اساس سری‌های جدا شده نام‌گذاری می‌شود. خاک‌های مجاور ممکن‌است در خانواده‌ها، زیرگروه‌ها و .... مختلفی باشند در بعضی موارد آن‌ها حتی ممکن‌است در رده‌های مختلفی طبقه‌بندی شوند. مثالی از این موقعیت صحرایی در شکل ۲۹-۳ که درآن واحد نقشه به‌وسیله‌ی سری خاک متعلق به رده مولی‌سول همراه با دو سری خاک متعلق به آلفی‌سول غالب می‌باشند نشان داده شده است. تشخیص چنین مجموعه‌ی خاک‌های صحرایی در انجام مطالعات خاک‌شناسی و تفسیر اطلاعات جغرافیایی خاک بسیار مهم می‌باشند.



شکل ۲۸-۳ تصویری که تشریح می‌کند چگونه یک خاک **Kokomo** با در کل طرح طبقه‌بندی انتخاب می‌شود. چهارگوش‌های تیره مشخص می‌سازد که خاک در رده‌ی مولی‌سول، زیر رده **Aquolls**، گروه بزرگ **Argiaquolls**، زیرگروه **Typic Argiaquolls** می‌باشد. در هر دسته سایر واحدهای طبقه‌بندی که به‌وسیله‌ی کلید رده‌بندی خاک انتخاب می‌شوند، نشان داده شده است.



شکل ۲۹-۳ مجموعه‌ی خاک‌ها در ایوا، به رابطه‌ی نوع خاک با ۱- ماده‌ی مادری ۲- پوشش گیاهی ۳- پستی‌وبلندی ٤- زه‌کشی توجه داشته باشید. دو خاک آلفی‌سول (سری‌های Down,Fayette)و سه نوع خاک مولی‌سول (سری‌های Garwin, muscatine, Tama) در شکل نشان داده شده‌اند.

۱۸-۳ نتیجه‌گیری نهایی

خاکی که سطح زمین را می‌پوشاند در واقع از شمار زیادی واحدهای انفرادی خاک تشکیل شده است که هر یک ویژگی‌های جداگانه‌ای دارند. در بین این خصوصیات، مهمترین آن‌هایی هستند که همراه با لایه‌های افقی و یا افق‌ها بوده که در پیکره خاک یافت می‌شوند. این افق‌ها بیانگر فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی بوده که خاک طی تکامل در آن قرار گرفته است. خصوصیات این افق‌ها در چگونگی استفاده از خاک‌ها بسیار مؤثر می‌باشد.

اطلاع از انواع وخصوصیات خاک‌های سرتاسر جهان در تلاش انسان‌ها برای بقا و رفاه آن‌ها حیاتی می‌باشند. بر اساس این خصوصیات اگر انتظار داریم که دانش کسب‌شده در یک محل برای حل مسایل نقاط دیگر با کلاس‌های خاک مشابه مورد استفاده قرار گیرد آن‌وقت نظام طبقه‌بندی خاک نیز دارای اهمیت حیاتی خواهد بود.

رده‌بندی خاک یک نظام طبقه‌بندی بر اساس خصوصیات قابل اندازه‌گیری می‌باشد که برای رفع این نیاز ۵۵ کشور جهان کمک می‌کنند. دانشمندان با یادگیری بیشتر در مورد طبیعت و خصوصیات خاک‌های جهان و رابطه بین آن‌ها مرتباً در این نظام تجدید نظر می‌کنند. در بقیه‌ی فصل‌های این کتاب از اسامی رده‌بندی برای تعیین انواع خاک‌ها هر جا که لازم باشد استفاده می‌کنیم.

سوالات برای مطالعه

۱- افق‌های تشخیصی برای دسته بندی خاک‌ها در رده‌بندی خاک به‌کار می‌روند. تفاوت اساسی بین یک افق تشخیصی (مانند افق ارجلیک) و یک افق توارثی (مانند Bt1) را بیان کنید. یک نمونه‌ی صحرایی از یک افق تشخیصی که شامل چند افق توارثی است ارائه دهید.

۲- رابطه‌ی بین یک خاک انفرادی، یک پلی‌پدون، یک پدون و یک زمین‌نما را بیان کنید.

۳- راسته‌های خاک زیرین را به ترتیب از کمترین تا بیشترین مقدار هوادیدگی مجدداً تنظیم کنید. اکسی‌سول، الفی‌سول، مولی‌سول و انسپتی‌سول.

٤- خصوصیات اصلی خاک که به‌وسیله‌ی آن التی‌سول‌ها از الفی‌سول‌ها و انسپتی‌سول‌ها از آنتی‌سول‌ها متمایز می‌گردند چه می‌باشد؟

۵- کلید داده شده در شکل ۹-۳ را برای تعیین راسته‌ی خاکی با خصوصیات زیر: یک افق اسپودیک در عمق ۳۰ سانتی‌متری، یخبندان دائمی در عمق ۸۰ سانتی‌متر به‌کار برید، نوع راسته انتخاب شده را توضیح دهید.

٦- از ۵ عامل تشکیل خاک که در فصل ۲ مورد بحث قرار گرفت (ماده‌ی مادری، اقلیم، موجودات زنده، پستی‌وبلندی و زمان) دو عامل را انتخاب کنید که دارای تأثیر غالب در تکامل خصوصیات خاک مشخصه‌ی هر کدام از راسته‌های خاک می‌باشد : ورتی‌سول، مولی‌سول، اسپدوسول و اکسی‌سول.

۷- به کدام راسته‌ی خاک، هر یک از خاک‌های زیر تعلق دارند : پسامنت، اودول، ارجید، اودپت، فراجی اودالف، هاپلوستوکس و کالسی استرت؟

۸- در یک نام چه چیز موجود می‌باشد : تشریح خاکرخ فرضی و ارزیابی تناسب اراضی را برای یک خاک فرضی که در زیرگروه اکویک ارجی زرول قرار دارد انجام دهید.

۹- چرا گفته می‌شود که رده‌بندی خاک یک نظام طبقه‌بندی سلسله مراتب است؟

۱۰- نام طبقات رده‌بندی کلاس‌های طبقه‌بندی زیر را معلوم کرده و کاربرد مهندسی آن‌ها را مورد بحث قرار دهید. اکویک پالودولت، فراجی اودولت، هاپلواسترت، ساپریست و توربل .

و هنگامی‌که آن محصول رشد کرد و برداشت گردید
هیچ‌کس کلوخه‌ای داغ را با انگشتان خود خرد نکرد و خاک
نبیخته‌ای از سر انگشتان خود گذر نداد.
خوشه‌های خشم : اثر جان اشتاین بک

فصل چهار

مهرازی خاک‌ها و خصوصیات فیزیکی آن‌ها

ویژگی‌های فیزیکی خاک در چگونگی ایفای نقش خاک در یک بوم‌سامان و نحوه‌ی انجام بهترین مدیریت در آن بسیار مؤثر است. موفقیت و یا شکست برنامه‌های کشاورزی و مهندسی اغلب وابسته به خصوصیات خاک به‌کارگرفته، می‌باشد. وجود و رشد بسیاری از گونه‌های گیاهی و حرکت آب و مواد حل‌شده در رو و در درون خاک در ارتباط نزدیک با خصوصیات فیزیکی خاک است.

دانشمندان خاک، رنگ، بافت و سایر خصوصیات فیزیکی خاک را در طبقه‌بندی خاکرخ و تعیین تناسب خاک‌ها برای طرح‌های کشاورزی و زیست محیطی در محل مورد استفاده قرار می‌دهند. دانستن خصوصیات فیزیکی خاک نه‌تنها خود دارای ارزش عملی زیادی است، بلکه در فهم بسیاری از جنبه‌های خاک که در فصول بعد مورد ملاحظه قرار خواهند گرفت، به ما کمک می‌کند.

خصوصیات فیزیکی که در این فصل مورد بحث قرار گرفته‌اند در ارتباط با ذرات جامد خاک و چگونگی تجمع آن‌ها می‌باشد. اگر خاک را همانند خانه‌ای تجسم کنیم ذرات جامد خاک همانند آجرهای ساختمان خواهند بود که از آن‌ها خانه ساخته شده است. بافت خاک اندازه‌ی ذرات آن را تشریح می‌کند. قطعات بزرگ‌تر کانی‌ها معمولاً به‌وسیله‌ی رس و سایر مواد کلوییدی در برگرفته شده و پوشش داده می‌شوند. جایی‌که ذرات کانی درشت غالب باشند، خاک سنگریزه‌ای و یا شنی بوده، و هنگامی کانی‌های کلوییدی غالب باشند خاک همانند رس خواهد بود. انواع دسته‌بندی‌ها در بین این دو حد در طبیعت یافت می‌شوند.

در ساختن یک منزل روشی که قطعات ساختمانی در آن چیده می‌شوند سرشت دیوارها، اطاق‌ها و راهروها را مشخص خواهد کرد. ماده‌ی آلی همانند سیمان در بین ذرات انفرادی عمل نموده و تشکیل کلوخه و خاکدانه را سبب خواهد شد. ساختمان خاک چگونگی تجمع ذرات را مشخص می‌کند، بنابراین خصوصیت سرشت نظام منافذ و آبراهه‌های خاک را معلوم می‌کند.

خصوصیات فیزیکی خاک که در این فصل مورد ملاحظه قرار می‌گیرند، به‌طور مستقیم سرشت بخش جامد خاک و تأثیر آن‌ها را بر آب‌وهوای خاک که در منافذ بین ذرات جامد قرار دارند تشریح می‌کنند.

بافت خاک و ساختمان خاک با هم در تعیین توانایی عرضه‌ی عناصر غذایی ذرات جامد خاک و همچنین توانایی خاک در نگهداری و هدایت آب‌وهوای موردنیاز فعالیت ریشه‌ی گیاه به ما کمک می‌کنند. این عوامل همچنین معلوم می‌کنند که وقتی خاک‌ها برای بزرگ‌راه‌ها، ساختمان‌ها، منازل و پی‌ها به‌کار می‌روند ویا تحت عملیات خاک‌ورزی قرار می‌گیرند چگونه رفتارخواهند کرد. خصوصیات فیزیکی خاک در واقع با تأثیر درحرکت آب در داخل و بر روی خاک‌ها نقش قابل‌توجهی در تخریب آن‌ها از طریق فرسایش اعمال خواهند کرد.

۴-۱ رنگ خاک [1]

نخستین چیزی‌که احتمالاً در مورد خاک اطلاع می‌یابیم، رنگ آن است. رنگ خاک اثرات اندکی بر رفتار و استفاده خاک‌ها دارد. استثنای مهم این واقعیت است که خاک‌های تیره سطحی انرژی خورشیدی بیشتری از خاک‌های دارای رنگ روشن جذب کرده و بنابراین ممکن‌است زودتر گرم شوند.

دلیل اصلی مطالعه رنگ خاک این است که رنگ خاک مدارک با ارزشی از سرشت سایر خصوصیات و شرایط خاک به‌دست می‌دهد. به دلیل اهمیت تشریح صحیح رنگ خاک در طبقه‌بندی و ارزیابی خاک، یک نظام مقرر برای تشریح رنگ با استفاده از صفحات رنگ مونسل [2] ابداع گردیده است (شکل ۱-۴). در این نظام، ذره‌ی کوچکی از خاک با قطعات کوچک رنگ استاندارد در دفترچه رنگ مونسل

[1]- برای یک مجموعه عالی از مقالات در مورد علل و اندازه‌گیری‌های رنگ خاک به مقاله Ciolkosz,Bigham ۱۹۹۳ مراجعه کنید.

[2] - Munsell Color chart

مقایسه می‌گردد. هر قطعه رنگ به وسیله سه جزء رنگ تحت واژه‌های ۱- هیو[1] (قرمز و یا زردبودن رنگ)، ۲- کروما[2] (شدت رنگ و یا براقی رنگ، کرومای صفر خاکستری بی‌رنگ است) و ۳ - ولیو[3] (روشنی و یا تیرگی رنگ، ولیو صفر تیره می‌باشد) مشخص می‌شود. خاک دامنه‌ی وسیعی را از رنگ‌های قرمز، قهوه‌ای، زرد و حتی سبز (تابلوهای رنگی ۱۶ و ۱۹ را ملاحظه کنید) را شامل می‌شود. بعضی از خاک‌ها تقریباً سیاه و بعضی دیگر تقریباً سفید هستند. بعضی از رنگ‌های خاک خیلی روشن بوده و بعضی دیگر خاکستری تیره می‌باشند. رنگ خاک‌ها در زمین‌نما وقتی خاک‌های مجاور دارای رنگ‌های متفاوت در خاک سطحی باشند ممکن‌است محل‌به‌محل باهم فرق کنند. رنگ‌ها در افق‌های مختلف به‌طور مشخص در ارتباط با عمق در داخل پیکره خاک تغییر می‌کنند. در بسیاری از خاک‌ها افق‌های یک پیکره‌ی خاص دارای رنگ‌ها با هیو مشابه بوده اما کروما و ولیو تغییر می‌کند. حتی در یک افق و یا کلوخه خاک رنگ نقطه به نقطه متفاوت می‌باشد (تابلو رنگی ۵).

علل ایجاد رنگ خاک

بخش اعظم رنگ خاک از رنگ اکسیدهای آهن و مواد آلی که سطح ذرات خاک را می‌پوشاند ناشی شده است. پوشش مواد آلی سبب تیره‌شدن و یا پوشاندن رنگ‌های حاصل از اکسید آهن می‌شود (تابلو رنگی ۸). افق‌های زیرین با مواد آلی اندک اغلب و به‌طور بسیار آشکار رنگ اکسیدهای آهن مانند گوتیت زرد[4]، هماتیت قرمز[5] و مگ هماتیت قهوه‌ای[6] را به نمایش می‌گذارد. دیگر کانی‌ها که بعضی مواقع به خاک رنگ‌های مشخصی می‌دهند عبارتند از اکسید منگنز (رنگ سیاه) و گلوکونیت[7] (رنگ سبز). کربنات‌ها مانند کلسیت، که به‌طور شاخص در خاک‌های مناطق نیمه‌خشک تجمع می‌کند ممکن‌است رنگ روشنی را بروز دهند.

تفسیر رنگ خاک

رنگ‌ها می‌توانند مطالب بسیاری درباره‌ی یک خاک به ما ارایه دهند و بنابراین استفاده‌ی گسترده‌ای از رنگ خاک در طبقه‌بندی خاک‌ها به‌عمل آمده است. رنگ‌ها اغلب برای تمیز افق‌های مختلف در خاکرخ به ما کمک می‌کنند. افق A به‌طور شاخص تیره‌تر و افق B روشن‌تر (و در بعضی مواقع قرمزتر) از افق‌های مجاور می‌باشند. در بعضی موارد رنگ یک استاندارد تشخیصی برای طبقه‌بندی می‌باشد. برای مثال یک اپی‌پدون مالیک (خصوصیات خاک‌های چمن‌زارها، فصل سوم را برای تعاریف مشاهده کنید) چنین تعریف شده است که : دارای رنگی چنان تیره باشد که ولیو و کرومای آن در حالت مرطوب ۳ و کمتر باشد (قسمت پایین نیمه چپ دفترچه‌ی رنگ و یا گوشه‌ی تیره رنگ). مثال دیگر زیرگروه‌های رودیک از رده‌های به‌خصوص خاک است که دارای یک افق B با رنگ‌های خیلی قرمز با هیوبین 2.5 YR (قرمزترین YRها) و 10R (قرمزترین هیو در دفترچه رنگ مونسل) باشد. رنگ همچنین می‌تواند اطلاعات کیفی در مورد وضعیت رطوبت خاک به‌دست دهد. خاک‌های خشک معمولاً دارای رنگ روشن‌تر از خاک‌های مرطوب می‌باشند.

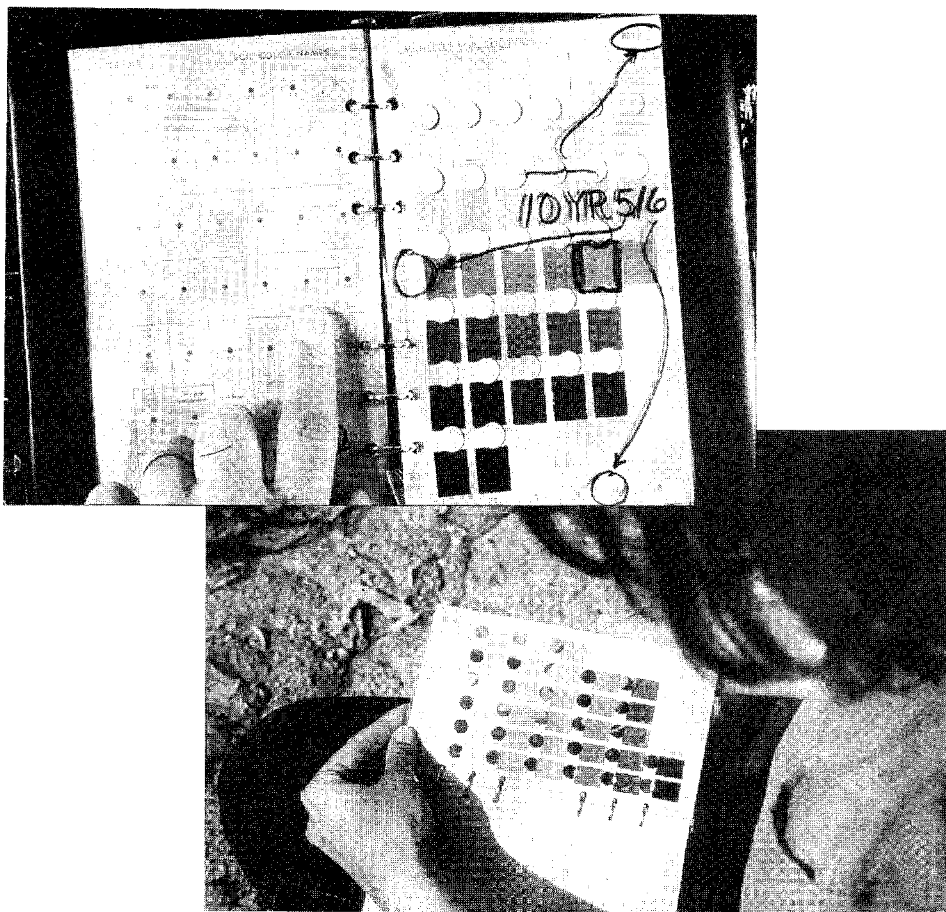
از آن‌جاکه تغییرات رنگ به‌خاطر اکسایش و احیای کانی‌های دارای اکسید آهن صورت می‌گیرد رنگ خاک می‌تواند اطلاعات با ارزشی از رژیم آب‌شناسی و زه‌کشی یک خاک به‌دست دهد. رنگ‌های درخشان (کرومای زیاد) در سرتاسر خاکرخ نشانه‌ی خاک‌های دارای زه‌کشی خوب است که از داخل آن‌ها آب به آسانی عبور می‌کند و تهویه آن‌ها مناسب می‌باشد. شرایط غیرهوازی طولانی سبب می‌شود که پوشش اکسیدهای آهن از نظر شیمیایی احیاء شوند و کرومای زیاد (قرمز و یا قهوه‌ای) به کرومای پایین (خاکستری آبی و یا خاکستری سبز) تغییر کند، شرایطی که به آن گلی[8] گفته می‌شود (تابلوی رنگی شماره ۲۰). حضور گلی(کرومای پایین) درلایه‌های فوقانی، چه به‌تنهایی وچه مخلوط با رنگین دانه‌ها[9] با رنگ‌های درخشان‌تر(تابلوهای رنگی ۱۸ و ۱۹ را مشاهده کنید) در تعیین محدوده اراضی ماندابی به‌کار می‌رود زیرا بیانگر شرایط ماندابی حداقل در طول بخش عمده‌ای از فصل رشد نبات می‌باشد (بخش ۸-۷ را مشاهده کنید) عمقی از خاکرخ که درآن رنگ‌های گلی یافت می‌شود برای تعیین کلاس زه‌کشی خاک به ما کمک می‌کند (شکل ۲-۱۹ را ملاحظه کنید).

---

[1] - Hue
[2] - Chroma
[3] - Value
[4] - Goethite
[5] - Hematite
[6] - Maghematite
[7] - Glatuconite
[8] - Gely
[9] - Mottling

یک نظریه غلط در مورد رنگ خاک این است که رابطه‌ی پایدار بین رنگ خاک و بافت خاک (بخش ۲-٤ را مشاهده کنید) وجود دارد. برای مثال مردم مناطق گرم اغلب از «رس قرمز» صحبت می‌کنند، اما رنگ قرمز ضرورتاً بیانگر خاک‌های رسی نیست، مواد خیلی شنی همچنین به‌دلیل پوشش ذرات شن به‌وسیله‌ی کانی‌های آهن اغلب دارای رنگ قرمز می‌باشند (تابلوی رنگی ۱۰ را مشاهده کنید).

در پایان به‌جا خواهد بود که اشاره کنیم که، خاک‌ها با رنگ‌های مشخص مهمترین عضو زیباشناسی یک چشم‌انداز هستند. برای مثال رنگ‌های قرمز گرم ویژگی بارز بسیاری از چشم‌اندازهای گرمسیری و شبه‌گرمسیری است، درصورتی‌که رنگ‌های خاکستری تیره و قهوه‌ای مشخص‌کننده‌ی مناطق سردتر و معتدل‌تر می‌باشند. بنابراین، یک نفر بومی ایالت جورجیا احتمالاً دارای تصویر ذهنی متفاوتی از خاک در مقایسه با یک شخص در ایالت نیویورک می‌باشد.



شکل ۱-٤ تعیین رنگ خاک با مقایسه آن با قطعات رنگ در دفترچه رنگ مونسل، هر صفحه نشاندهنده هیوی متفاوتی بوده که از 5R (قرمز) تا 5Y (زرد) تغییر می‌کند. در یک صفحه رنگ‌ها با ولیو بالاتر(سفیدتر) نزدیک به بالای دفترچه و رنگ‌ها با ولیوی کمتر (سیاهتر) نزدیک پایین دفترچه می‌باشند. رنگ‌ها با کرومای بالاتر (درخشان‌تر) نزدیک دست راست دفترچه بوده و رنگ‌ها با کرومای خاکستری مات در سمت چپ قرار دارد. تشریح رنگ مونسل کامل خاک در عکس 10YR 5/6 (قهوه‌ای زرد)، در حالت مرطوب می‌باشد.

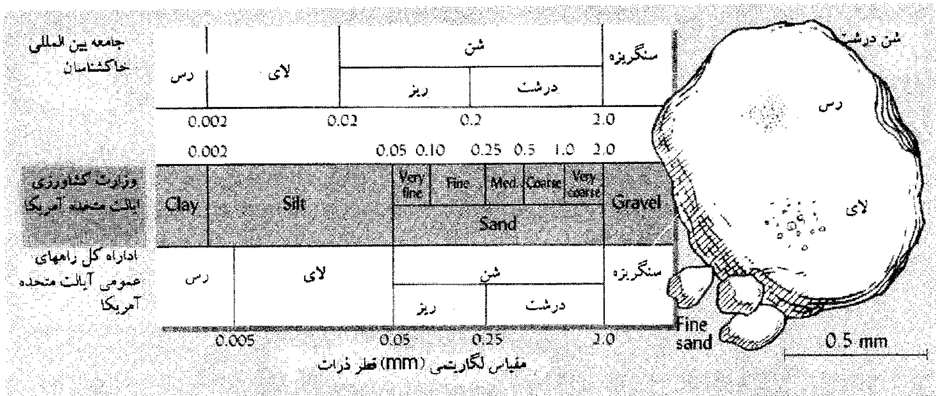
۲-٤ بافت خاک (توزیع اندازه‌ی ذرات خاک)

به‌نظر می‌رسد که اندازه ذرات کانی‌ها در خاک بسیار پیش‌پاافتاده بوده و درخور توجه نباشد، با وجود این آگاهی از نسبت ذرات با اندازه‌های مختلف در خاک (بافت خاک) برای درک رفتار خاک‌ها و مدیریت آن‌ها حیاتی می‌باشد.

وقتی خاک در یک محل مورد تحقیق قرار می‌گیرد، بافت افق‌های مختلف اغلب اولین و مهمترین خصوصیت خاکی است که باید تعیین گردد، زیرا خاک‌شناس می‌تواند نتایج بیشماری از این اطلاعات به‌دست آورد. به‌علاوه بافت خاک در مزرعه دچار تغییر نمی‌شود بنابراین به‌عنوان یک خصوصیت اساسی مورد ملاحظه قرار می‌گیرد.

سرشت اجزای مختلف خاک

قطر ذرات خاک از تخته‌سنگ‌ها (با قطر یک متر) تا رس‌های میکروسکوپی (با قطر کمتر از 10^{-6} متر) در بیشتر از ۶ مرتبه‌ی بزرگی متفاوت می‌باشد، دانشمندان این ذرات را در دسته‌های جداگانه‌ای همان‌طورکه در شکل ۲-٤ نشان داده شده است، براساس چندین نظام طبقه‌بندی می‌کنند. طبقه‌بندی پیشنهادشده به‌وسیله‌ی وزارت کشاورزی آمریکا در این کتاب مورداستفاده می‌باشد. دامنه تغییرات اندازه‌ی این دسته‌های جداگانه صرفاً فرضی نیست، بلکه بیانگر تغییراتی عمده در چگونگی رفتار این ذرات و خصوصیات فیزیکی خاک می‌باشد.



شکل ۲-٤ طبقه‌بندی ذرات خاک بر حسب اندازه‌ی آن‌ها. بخش وسط نظام وزارت کشاورزی آمریکا را نشان می‌دهد که به‌طور گسترده‌ای در سرتاسر دنیا کاربرد دارد. این نظام در کتاب حاضر مورد استفاده می‌باشد. دو نظام دیگر به‌طور گسترده به‌وسیله‌ی دانشمندان علوم خاک و مهندسین جاده‌سازی مورد استفاده می‌باشد. نقاشی‌های ذرات اندازه آن‌ها را مشخص می‌کند.

ذرات درشت‌تر از ۲ میلی‌متر چسبندگی و خاکدانه‌سازی اندکی در ماتریکس خاک از خود بروز می‌دهند، حضور مقادیر کافی از این قطعات درشت[1] (سنگریزه، قلوه سنگ، تخته سنگ و...) ممکن‌است در رفتار یک خاک مؤثر باشند اما جزو ذرات ریز خاک[2] که واژه بافت خاک در مورد آن مصداق دارد به حساب نمی‌آیند. اثر عمده قطعات درشت کاهش حجم قابل استفاده خاک برای حرکت هوا و آب و ریشه‌ها می‌باشد، قطعات سنگی درشت‌تر به‌خصوص اگر از کانی‌های سختی مانند کوارتز تشکیل شده باشند معمولاً موانعی در مقابل عملیات خاک‌ورزی ایجاد می‌کنند.

شن : شن به‌عنوان ذرات کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر اما درشت‌تر از ۰/۰۵ میلی‌متر تعریف شده‌اند. ذرات شن بر حسب میزان فرسایش آن‌ها براثر فرایندهای سایش در طول خاک‌سازی ممکن‌است، گرد یا زاویه‌دار (شکل ۳-٤) باشند. ذرات شن ممکن‌است قطعات سنگی که شامل کانی‌های مختلف است، باشند. اما اکثر ذرات شن از یک کانی معمولاً کوارتز و یا سایر سیلیکات‌های اولیه تشکیل شده‌اند (شکل٤-٤). ذرات شن ممکن‌است به‌علت پوشش اکسیدهای آهن و آلومینیوم قهوه‌ای، زرد و قرمز به‌نظر برسند. درهرحال غلبه کوارتز به‌معنی این‌است که بخش شن در کل دارای عناصر غذایی کمتری از بخش ریزتر می‌باشند.

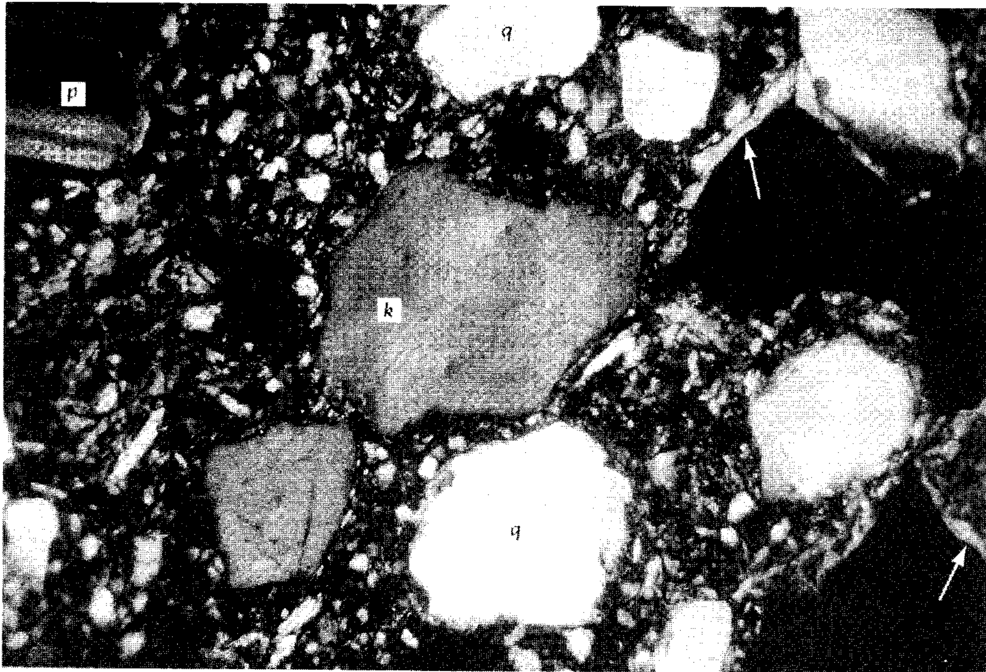
ذرات شن در صورت مالش در بین انگشتان احساس زبری را القا می‌کنند و معمولاً با چشم غیرمسلح قابل‌مشاهده می‌باشند(شکل٤-٤). از آنجاکه ذرات شن درشت می‌باشند، منافذ خالی بین آن‌ها نیز نسبتاً درشت بوده و امکان زه‌کشی آزاد آب و ورود هوا را به‌داخل خاک افزایش می‌دهد. رابطه‌ی بین اندازه ذرات و سطح مخصوص (سطح مخصوص در حجم و یا جرم ذرات) در شکل ٦-٤ نشان داده شده است. به‌خاطر اندازه‌ی بزرگ، ذرات شن دارای سطح مخصوص نسبتاً کمی می‌باشند. بنابراین، ذرات شن قادر به نگهداری آب کمی هستند و خاک‌هایی که شن در آن‌ها غالب است در معرض خشکسالی قرار می‌گیرند. ذرات شن غیرچسبنده بوده و این بدان معنی است که تمایل ندارند در یک توده به‌همدیگر بچسبند (شکل ۹-٤ را مشاهده کنید).

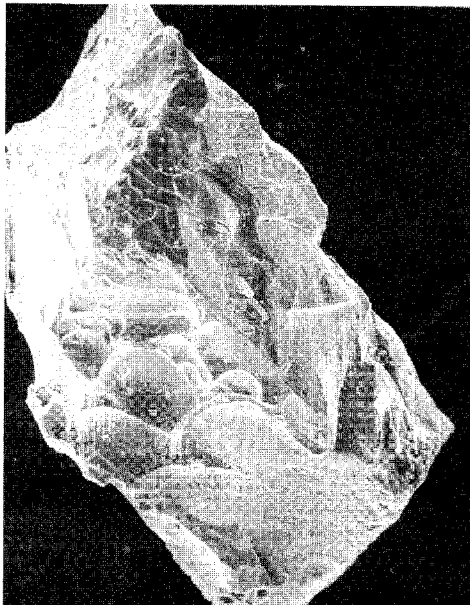
لای : ذرات کوچک‌تر از ۰/۰۵ میلی‌متر اما درشت‌تر از ۰/۰۰۲ میلی‌متر تحت عنوان لای[3] طبقه‌بندی شده‌اند. ذرات جداگانه لای نه با چشم غیرمسلح قابل مشاهده بوده (شکل ۵-٤ را مشاهده کنید) و نه دارای احساس زبری هنگام مالش در بین انگشتان دست می‌باشند. این ذرات

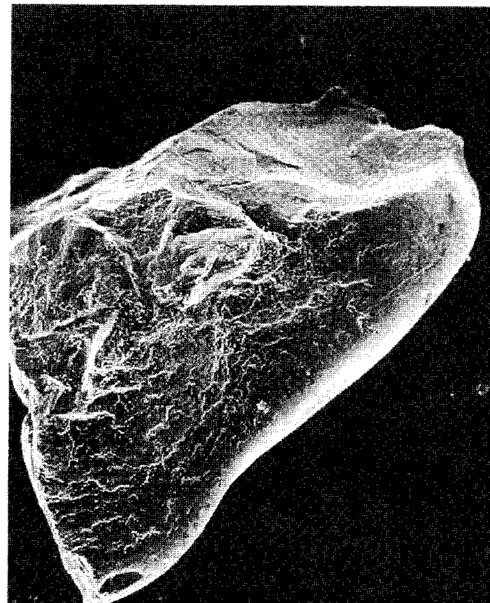
---

1 - Coarse fragments
2 - Fine earth fraction
3 - Silt

معمولاً ذرات بسیار ریز شن می‌باشند و کوارتز کانی غالب آن‌ها است. وقتی‌که لای از کانی‌های قابل هوادیدگی تشکیل شده باشد، اندازه‌ی کوچک ذرات امکان می‌دهد که هوادیدگی به‌سرعت برای آزادکردن مقادیر کافی عناصر غذایی نبات پیشرفت کند.



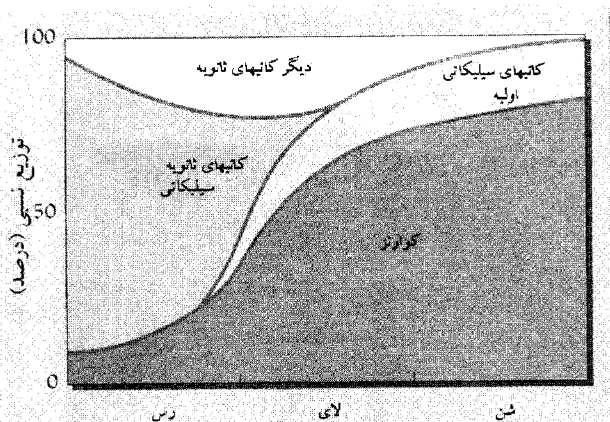




شکل ۳-٤ (بالا) برش نازک از یک خاک لومی، همان‌طورکه از داخل میکروسکوپ با استفاده از نور قطبی (منافذ خالی سیاه به‌نظر می‌رسد) دیده می‌شوند. ذرات شن‌ولای نشان داده هر دو در اندازه و شکل نامنظم می‌باشند. ذره‌ی لای کوچک‌تر است. اگرچه کوارتز (q) در بخش‌های شن ولای غالب می‌باشد، چندکانی سیلیسی دیگر را می‌توان دید(p پلاژیوکلاژ و k فلدسپار). لایه رسی را می‌توان دید پیکان که دیواره‌ی منافذ درشت را پوشانده است. عکس‌های الکترونی ریزبین، از ذرات شن نشان‌دهنده‌ی کوارتز (سمت چپ پایین عکس) و ذره‌ی فلدسپات (سمت راست پایین عکس) می‌باشد که ٤٠ بار بزرگ شده است.

گرچه لای از ذراتی مشابه با شن تشکیل شده است، از آن حالتی، صاف و ابریشم مانند مشابه با آرد احساس می‌شود. منافذ بین ذرات لای بسیار کوچک‌تر (و بسیار متعددتر) از منافذ بین شن می‌باشند. بنابراین لای آب بیشتری نگهداری کرده و امکان کمی برای زه‌کشی آن‌را

فراهم می‌کند هرچند در حالت خیسی نیز چسبندگی و شکل‌پذیری (قابلیت انعطاف[1]) کمی از خود نشان می‌دهد. شکل‌پذیری و هم‌چسبی (چسبندگی) و ظرفیت جذب کمی که برخی خاک‌های لای‌دار از خود نشان می‌دهند عمدتاً به‌خاطر یک لایه رس چسبیده بر روی آن‌هاست. به‌خاطر چسبندگی و شکل‌پذیری کم آن‌ها خاک‌های لای‌دار به آسانی به‌وسیله‌ی آب جاری در فرایندی به اسم رگاب (جوشش شن[2]) شستشو می‌شوند. تابلو۱-٤ مراحل جوشش شن را تشریح نموده واهمیت تشخیص بین لای ورس راروشن می‌کند.



شکل ٤-٤ رابطه کلی بین اندازه‌ی ذرات و انواع کانی‌های موجود. کوارتز در بخش‌های شن ولای غالب می‌باشد. کانی‌های سیلیکاتی اولیه، مانند فلدسپات، هورنبلند و میکا در بخش شن و به‌مقدار کمی در بخش لای حضور دارند. سیلیکات‌های ثانویه در بخش رس غالب می‌باشند. سایر کانی‌های ثانویه مانند اکسیدهای آهن وآلومینیوم در لای ریز و رس درشت غالب می‌باشند.

رس : ذرات کوچک‌تر از ۰/۰۰۲ میلی‌متر تحت عنوان رس طبقه‌بندی شده و دارای سطح مخصوص بسیار بالایی می‌باشند که به خاطر آن ظرفیت فوق‌العاده‌ای برای جذب آب و سایر مواد غذایی را دارند. یک قاشق پر از رس ممکن‌است دارای سطحی در حد یک زمین فوتبال باشد (بخش ۱-۸ را مشاهده کنید) این سطح بزرگ جذبی سبب می‌شود که ذرات رس به‌دنبال خشک‌شدن به‌صورت یک توده سخت به‌هم‌دیگر بچسبند. وقتی خاک خیس باشد چسبنده بوده و به آسانی تغییر شکل می‌دهد.

اندازه ذرات رس چنان ریز است که مشابه کلویید عمل می‌کنند یعنی اگر درآب به‌صورت تعلیق درآیند به آسانی ته‌نشین نمی‌شوند. برخلاف اکثر ذرات شن و لای، ذرات رس بیشتر همانند پوسته‌های نازک و یا صفحات کوچک می‌باشند. منافذ بین ذرات رس بسیار کوچک و کج‌ومعوجند. بنابراین حرکت آب‌وهوا در آن‌ها بسیار کند می‌باشد. هرکانی رس خاص(فصل۸ را مشاهده کنید) به خاک ویژه‌ای که در آن غالب می‌باشد خصوصیات به‌خصوصی را اعطاء می‌کند. بنابراین، خصوصیات خاک مانند انقباض و انبساط یا شکل‌پذیری، ظرفیت نگهداری آب، مقاومت خاک و جذب شیمیایی در ارتباط با نوع رس موجود، و همین‌طور مقدار آن می‌باشد.

تأثیر سطح ذرات بر سایر ویژگی‌های خاک

وقتی اندازه ذرات کاهش می‌یابد، سطح مخصوص وخصوصیات مربوطه همان‌طورکه درشکل۷-٤ به‌طور ترسیمی نشان داده شده است به‌مقدار زیادی افزایش می‌یابد، رس کلوییدی ریز حدود ۱۰۰۰۰ برابر شن متوسط با همان وزن دارای سطح می‌باشد. بافت خاک در بسیاری از خصوصیات دیگر خاک از راه‌های بسیار زیادی در اثر ۵ پدیده سطحی اساسی زیر تأثیرگذار است (جدول۱-٤ را مشاهده کنید).

۱- آب در داخل خاک به‌صورت لایه‌های نازکی بر روی سطح ذرات باقی می‌ماند، هر چه سطح ذرات خاک بزرگ‌تر باشد ظرفیت نگهداری آب خاک بیشتر است.

۲- گازها و مواد شیمیایی حل شده هر دو به سطح جامدات تمایل پیدا کرده و جذب می‌شوند. هر چه سطح بیشتر باشد ظرفیت خاک برای نگهداری عناصر غذایی بیشتر است.

۳- هوا دیدگی در سطح ذرات کانی انجام می‌گرفته و عناصر جایگزین به‌داخل خاک آزاد می‌شوند. هرچه سطح بیشتر باشد میزان آزاد سازی عناصر غذایی از کانی‌های قابل هوادیدگی بیشتر می‌باشد.

٤- سطح ذرات کانی اغلب دارای بارهای منفی و مقداری بارهای مثبت الکترومغناطیسی است به‌طوری‌که سطوح ذرات و لایه‌های آب بین آن‌ها تمایل دارند که هم‌دیگر را جذب کنند (فصل ۷-٤ را مشاهده کنید). هر چه سطح ذرات بیشتر باشد تمایل طبیعی ذرات برای چسبیدن بهم‌دیگر در یک توده‌ی چسبنده و یا به‌صورت خاکدانه‌های جداگانه بیشتر است.

---
[1] - Plaslic-Malleable
[2] - Piping

۵- موجودات ذره‌بینی خاک تمایل دارند که بر روی سطوح ذرات رشد نموده و جوامع خود را گسترش دهند. به این دلیل و دلایـل دیگـر واکنش میکروبی در خاک تا حد زیادی تحت تأثیر سطح مخصوص آن است.

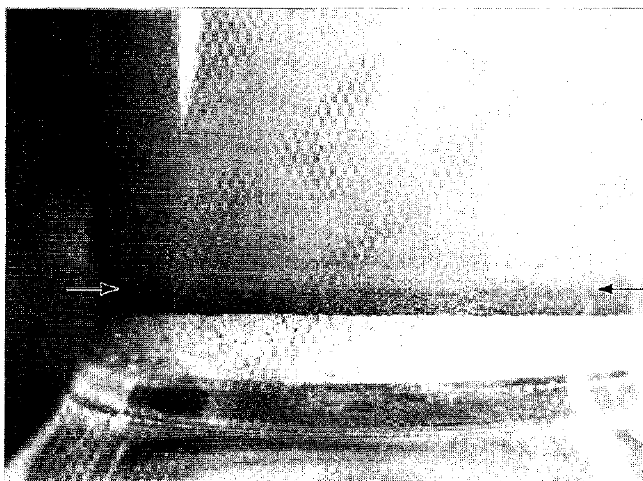
جدول ۱-٤ تأثیر کلی ذرات اجزای خاک بر بعضی از خصوصیات و رفتار خاک‌ها (الف)

خصوصیات و رفتار	شن	لای	رس
ظرفیت نگهداری آب	کم	متوسط تا زیاد	زیاد
تهویه	خوب	متوسط	ضعیف
سرعت زه‌کشی	سریع	آرام، متوسط	خیلی آرام
میزان ماده‌ی آلی	کم	متوسط تا زیاد	زیاد تا متوسط
تجزیه‌ی ماده‌ی آلی خاک	سریع	متوسط	آرام
گرم‌شدن در بهار	سریع	متوسط	آرام
تراکم‌پذیری	کم	متوسط	زیاد
حساسیت به فرسایش بادی	متوسط(شن ریز زیاد)	بالا	کم
حساسیت به فرسایش آبی	پایین (شن ریز زیاد)	بالا	خاکدانه‌ای کم
پتانسیل انقباض و انبساط	خیلی کم	کم	متوسط تا خیلی زیاد
پوشش استخرها، سدها و اراضی خاک‌ریزی شده	ضعیف	ضعیف	خوب
تناسب برای خاک‌ورزی به‌دنبال باران	بالا	متوسط	کم(ترک‌دار زیاد)
انرژی آب‌شویی آلاینده‌ها	بالا	متوسط	کم (مگر ترک‌دار)
توانایی ذخیره‌ی عناصر غذایی	ضعیف	متوسط تا زیاد	زیاد
مقاومت به تغییرات pH	کم	متوسط	زیاد

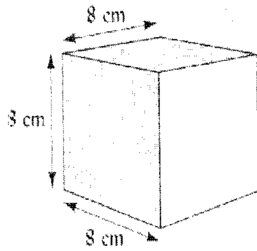
(الف)



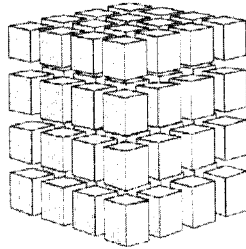
(ب)



شکل ٥-٤ جداکردن ذرات خاک بر اساس اندازه آن‌ها در هنگام ته‌نشینی. خاک داخل استوانه در اثر به‌هم‌زدن به‌صورت تعلیق در می‌آید و سپس در معرض ته‌نشینی قرار می‌گیرد. بعد از حدود یک دقیقه ذرات شن ته‌نشین شده و میزان لای و رس در محلول تعلیق با قراردادن یک هیدرومتر غوطه‌ور در آن تعیین می‌گردد (الف). بعد از حدود یک روز رس در محلول تعلیق باقی می‌ماند و شن ولای در کف سیلندر لایه‌ای ایجاد کرده‌اند (ب). مرز بین ذرات شن ولای می‌تواند به‌وسیله‌ی خطی که روی آن ذرات با چشم قابل رؤیت نبوده و در زیر آن ذرات قابل رؤیت می‌باشند تعیین گردد.



(الف)


(ب)

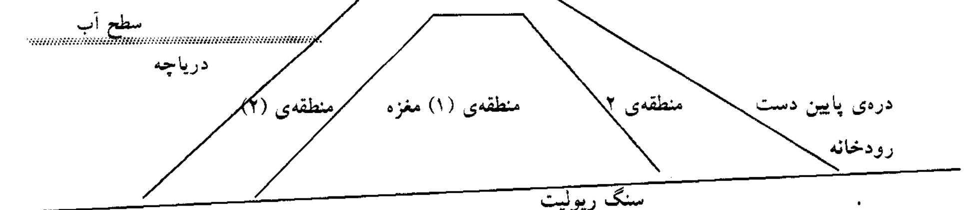
شکل ٦-٤ رابطه کلی بین سطح یک توده و اندازه‌ی ذرات آن. در مکعب بزرگ (الف) سطح هروجه ٦٤ سانتی‌مترمربع است و مساحت کل هر ٦ وجه آن ٣٨٤ سانتی‌متر مربع خواهد شد. اگر مکعب به مکعب‌های کوچک‌تری تقسیم گردد (ب) به‌طوری‌که طول هر ضلع آن ٢ سانتی‌متر گردد ٦٤ مکعب کوچک حاصل خواهدشد که باتوجه به مساحت هر وجه آن‌ها (٤سانتی‌مترمربع) و مساحت کل هر مکعب کوچک یعنی ٢٤ سانتی‌متر مربع مساحت کل مکعب‌های کوچک ١٥٣٢ سانتی‌مترمربع خواهد شد که ٤ برابر مساحت مکعب بزرگ می‌باشد. از آن‌جاکه ذرات رس بسیار ریز بوده و اغلب دارای شکل صفحه‌ای می‌باشند مساحت آن‌ها هزاران بار از ذرات شن در جرم برابر بزرگ‌تر است.

تابلو۱-٤ لای و فرو ریختن سد تیتان

یکی از غم‌بارترین و پرهزینه‌ترین رخدادهای تاریخ مهندسی آمریکا در پنجم ژوئن ۱۹۷۷، کمتر از یک‌سال بعد از اتمام عملیات ساختمانی یک سد بزرگ خاکی بر روی رودخانه تیتان در ایالت ایداهو اتفاق افتاد ۱۱ نفر کشته‌شدند و ۲۵۰۰۰ نفر طی ۵ ساعت که دریاچه‌ی سد با طول ۲۸ کیلومتر تخلیه گردید بی‌خانمان شدند. حدود ۴۰۰ میلیون دلار(با نرخ ۱۹۷۷) خسارت با فروپاشی سد ودره‌ی پایین دست به‌وسیله‌ی دیواره‌ای عظیم از آب خروشان به بارآمد. سد بدون کوچک‌ترین اخطار، با تبدیل نشت بسیارکوچک به جریان سیل بسیار عظیمی فروریخت ومجموعه‌ای از بولدزرها، که برای مرمت اعزام شده‌بودند، جاروشدند.

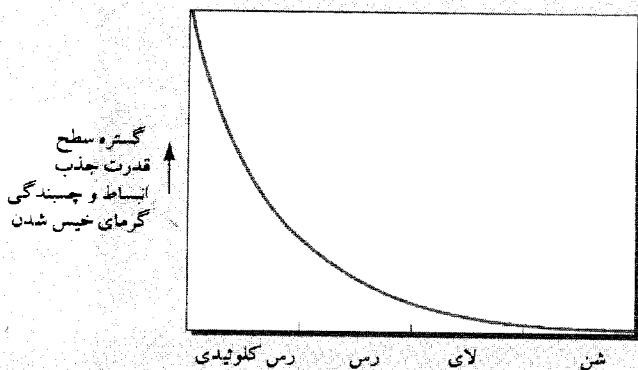
سد تیتان بر اساس یک طرح استاندارد آزمون شده‌ی زمانی در سدهای لایه‌بندی شده خاکی ساخته شد[1]. اساساً بعد از آماده‌کردن شالوده‌ای در سنگ ریولیت در زیر خاک، یک مغزه[2] (منطقه‌ی یک) از مواد خاکی متراکم شده ساخته شد و به‌وسیله‌ی یک لایه درشت‌تر از مواد آبرفتی (منطقه ۲) برای محافظت آن در مقابل فرسایش آبی و بادی پوشانده شد.

هدف این است که مغزه از اندوده‌ی نفوذناپذیری‌که از نشت آب از داخل سد ممانعت کند تشکیل شده باشد. معمولاً مواد رسی برای مغزه انتخاب می‌شوند، زیرا خصوصیات چسبندگی و شکل‌پذیری رس مرطوب به آن امکان می‌دهد که به‌صورت یک توده‌ی متراکم شکل‌پذیر یک‌پارچه درآید، که تا مادامی‌که مرطوب است ترک بر نمی‌دارد. از طرف دیگر لای در مزرعه گرچه همانند رس به‌نظر می‌رسد اما فاقد چسبندگی و شکل‌پذیری، و یا دارای چسبندگی و شکل‌پذیری اندکی می‌باشد و بنابراین به‌صورت یک توده‌ی چسبنده همانند رس متراکم نمی‌شود. در واقع یک توده‌ی مرطوب لای متراکم بعد از نشست به‌دلیل نبود شکل‌پذیری در آن ترک بر می‌دارد. اگر آب از داخل این ترک‌ها نشت کند، لای به‌سرعت براثر جریان آب جاری به خارج شسته شده و سبب بزرگ‌ترشدن ترک و فرا خواندن آب بیشتر به‌داخل ترک و آبشویی لای بیشتری می‌شود. این فرایند بزرگ‌شدن مسیر نشت، رگاب(جوشش شن) و یا غُل زدن[3] نامیده می‌شود. این فرایند مطمئناً علت اصلی فروریختن سد تیتان بوده است. مهندسینی که منطقه (۱) را ساخته‌اند از رسوبات بادنهشته به اسم لس (فصل ۱۱-۲ را مشاهده کنید) به‌جای رس استفاده کرده‌بودند.



این حادثه‌ی غم بار درس مفیدی از اهمیت بافت در تعیین رفتار خاک می‌باشد.

[1] - Time tested desiqn for zoned earth-fill embankments
[2] - Core
[3] - Piping



شکل ۷-٤ هرچه بافت خاک ریزتر باشد، سطح مؤثری که به‌وسیله‌ی ذرات آن آشکار می‌شود بیشتر می‌باشد توجه کنید که جذب، انبساط و سایر خصوصیات خاک همان روند کلی را دنبال نموده و شدت آن‌ها با رسیدن ذرات به اندازه کلوییدی به سرعت افزایش می‌یابد.

٤-۳ کلاس‌های بافت خاک

سه گروه بزرگ از کلاس‌های بافت خاک مشخص شده‌اند که عبارتند از خاک‌های شنی، خاک‌های لومی و خاک‌های رسی. در داخل هر یک از این گروه‌ها اسامی کلاس‌های بافت خاک بیانگر توزیع اندازه‌ی ذرات و سرشت کلی خصوصیات فیزیکی خاک می‌باشند. ۱۲ کلاس بافت که در جدول ۲-٤ نام‌گذاری شده‌اند یک توالی تدریجی از شن‌ها با بافت درشت و سهولت مدیریت را تا رس‌های بسیار ریز که مدیریت فیزیکی آن‌ها مشکل است تشکیل می‌دهند.

در کلاس‌های بافت شن[1] و شن لومی[2]، خصوصیات شن غالب است. بخش شن حداقل ۷۰ درصد وزنی خاک را تشکیل می‌دهد (کمتر از ۱۵درصد خاک رس می‌باشد). خصوصیات رس به‌طور شاخص دربافت‌های رس[3]، رسی شنی[4] و رسی سیلتی[5] غالب می‌باشند.

خاک‌های لومی: گروه سوم شامل تقسیمات فرعی بسیاری می‌باشد.یک لوم آرمانی ممکن‌است به‌صورت مخلوطی از ذرات شن،لای و رس تعریف شود که خصوصیات این بخش‌ها را تقریباً به‌طور یکسان بیانگر باشد. این تعریف به این مفهوم نیست که درخاک لوم هرسه بخش در مقادیر یکسان وجود دارند (مطالعه‌ی دقیق شکل ۸-٤ این مطلب را روشن خواهد کرد). این امر نامتعارف به این‌خاطراست که درصد کمتری از رس لازم است که خواص بخش رس را در خاک ایجاد کند. درصورتی‌که مقادیر کمتر شن ولای اثر کمتری بر رفتار خاک خواهند داشت. بنابراین، نام رسی با حداقل ۲۰ درصد رس در نام کلاس‌های بافت خاک به‌کار برده می‌شود، اما برای این‌که یک تغییردهنده‌ی شنی و یا سیلتی به‌کار برده شود، خاک باید حداقل ٤۰ و یا ٤٥ درصد از این بخش‌ها را به‌ترتیب داشته باشد.

بیشتر خاک‌ها نوعی از بافت لوم می‌باشند. آن‌ها ممکن‌است ترکیبی آرمانی از نسبت‌های مساوی خصوصیات بخش‌ها را که در بالا تشریح گردید، داشته باشند و به اسامی تحت کلاس لوم طبقه‌بندی شوند. بنابراین، خاک لوم، که در آن بخش شن غالب است تحت نام لوم شنی طبقه‌بندی می‌شود. به‌همین ترتیب لوم سیلتی[6]، لوم رسی سیلتی، لوم رسی شنی و لوم رسی طبقه‌بندی می‌شوند.

اجزای درشت تغییردهنده‌ی نام بافت

برای بعضی از خاک‌ها عوامل کیفی مانند سنگ، سنگریزه و درجات مختلف شن قسمتی از نام کلاس بافت را تشکیل می‌دهند. اجزایی که دارای ۲ تا ۷٥ میلی‌متر در بزرگ‌ترین قطر خود می‌باشند سنگ‌ریزه(ریگ)[7] و یا خرده‌سنگ[8] نامیده می‌شوند. آن‌هایی که از ۷٥ تا ۲٥۰ میلی‌متر متغیر می‌باشند اگر گرد شده باشند قلوه‌سنگ[9]، و اگر مسطح باشند قطعه‌سنگ[10] نامیده می‌شوند. قطعاتی که دارای قطر بیش از ۲٥۰ میلی‌متر باشند تخته‌سنگ[11] و یا گنده‌سنگ[12] نامیده می‌شوند. لوم شنی ریز قلوه‌سنگی[13] نمونه‌ای از کلاس بافت تغییریافته می‌باشد.

---

1 - Sand
2 - Loamy Sand
3 - Clay
4 - Sandy Clay
5 - Silty Clay
6 - Sily loam
7 - Gravel
8 - Pebbel
9 - Cobble
10 - Flag
11 - Stone
12 - Boulder
13 - Cobbly fine sandy loam

تغییر کلاس‌های بافت خاک

طی زمان‌های طولانی، فرایندهای خاک‌شناسی(فصل۲ رامشاهده کنید) مانند فرسایش، ته‌نشست، آبشویی و هوادیدگی می‌توانند بافت افق‌های مختلف خاک راتغییر دهند. هرچند عملیات مدیریتی معمولاً بافت کلاس خاک را در مقیاس مزرعه تغییر نمی‌دهند. بافت یک خاک خاص فقط با مخلوط‌کردن آن با خاک دیگر که دارای کلاس بافت متفاوت است تغییر می‌کند. برای مثال مخلوط‌کردن مقادیر زیاد شن برای تغییر خصوصیات فیزیکی یک خاک رسی جهت استفاده در گلدان و یا برای چمن چنین تغییری را به بار می‌آورد. هرچند وقتی موقعیت‌ها (مثلاً در طراحی اراضی) به یک کلاس بافت خاص نیازمند باشد، مصلحت این است که به‌جای تلاش درتغییر کلاس بافت خاک با مخلوط‌کردن شن و رس، یک خاک طبیعی پیدا کنیم که این نیازها را برآورده کند[1].

همچنین باید توجه کرد که اضافه‌کردن پیت و یا کمپوست به یک خاک و مخلوط‌کردن آن با خاک‌های گلدان تغییری در بافت خاک ایجاد نمی‌کند زیرا این خصوصیت فقط مربوط به ذرات معدنی است. اطلاق واژه‌ی بافت خاک به مواد مصنوعی که عمدتاً شامل پرلیت[2]، پیت[3] و یا استیروفوم[4] و سایر مواد غیرخاکی است مصداق ندارد.

تعیین کلاس بافت به‌وسیله‌ی روش لمس‌کردن

تعیین بافت خاک یکی ازمهارت‌های صحرایی است که دانشمند خاک بایددرخود ایجاد کند. تعیین کلاس بافت یک خاک به‌وسیله‌ی لمس‌کردن آن درمطالعات خاک‌شناسی،طبقه‌بندی و هر تحقیقی که در آن بافت خاک نقشی ایفا می‌کند دارای ارزش عملی زیادی می‌باشد.

نتیجه‌ی درست تا حد زیادی در ارتباط با تجربه می‌باشد؛ بنابراین هر جا توانستید این کار را تجربه کنید و کار را با خاک‌هایی که دارای بافت مشخصی می‌باشند برای واسنجی انگشتان خودشروع کنید.

مثلث بافت خاک را (شکل ۸-٤) در هنگام تعیین بافت خاک به‌وسیله‌ی روش لمس‌کردن همان‌طورکه در تابلو ۲-٤ تشریح شده است باید در خاطر داشته باشید.

تجزیه‌ی آزمایشگاهی اندازه‌ی ذرات

نخستین و در بعضی مواقع دشوارترین مرحله در تجزیه‌ی اندازه ذرات پراکنده‌کردن کامل نمونه‌ی خاک در آب می‌باشد. به‌طوری‌که کوچک‌ترین گروه نیز به ذرات اولیه‌ی جداگانه تفکیک و تبدیل شوند. پراکندگی معمولاً با استفاده از مواد شیمیایی همراه با به‌هم‌زن‌های دارای سرعت بالا و یا دستگاه‌های تولید امواج ماوراء صوت صورت می‌گیرد.

درحالی‌که مجموعه‌ای از الک‌ها برای جداکردن شن مورد استفاده قرار می‌گیرد، برای تعیین مقدار رس و لای روش ته‌نشینی مورد استفاده می‌باشد. اصول این روش آسان است، از آن‌جاکه ذرات خاک بسیار سنگین‌تر از آب می‌باشند تمایل دارند در آب غوطه‌ور شده و با سرعتی که متناسب با اندازه‌ی آن‌هاست ته‌نشین شوند. به‌عبارت دیگر هر چه آن‌ها درشت‌تر باشند، سریع‌تر ته‌نشین گردند. به معادله‌ای که این رابطه را تشریح می‌کند قانون استوکس اطلاق می‌شود. معادله‌ی کامل در تابلو ۳-٤ ارایه شده است. معادله در ساده‌ترین بیان به ما می‌گوید که سرعت ته‌نشین‌شدن (V) در ارتباط با توان دوم قطر ذرات (d) می‌باشد. یعنی $V = Kd^2$، در آن K عبارت‌است از ثابتی که در ارتباط با شتاب ثقل، چگالی و گرانروی آب می‌باشد. با اندازه‌گیری مقدار خاک باقیمانده در حالت تعلیق بعد از زمان‌های مختلف ته‌نشین‌شدن (با استفاده از پی‌پت و یا هیدرومتر همان‌طورکه در شکل ۵-٤ نشان داده شده است) درصد هر بخش از اندازه‌ی ذرات مانند آن‌چه که در شکل ۱۰-٤ آمده است مورد استفاده قرار می‌گیرد.

شکل ۱۰-٤ منحنی‌های توزیع اندازه‌ی ذرات را برای خاک‌هایی که معرف سه کلاس بافت هستند ارایه می‌کند. این واقعیت که منحنی‌ها خطوط صافی هستند تأکید می‌کند که خط تیزی برای مشخص‌کردن بخش‌های شن، لای و رس وجود نداشته و تغییرات تدریجی خصوصیات خاک را باتغییر در اندازه‌ی ذرات مطرح می‌کند.

---

[1] - برای اصلاح خصوصیات فیزیکی خاک‌های بافت ریز با اضافه‌کردن شن باید توجه خاص مبذول داشت اگر شن دارای اندازه مناسب نباشد و در مقادیر کافی مصرف نگردد ممکن است به‌جای اثر مفید اثرات زیان‌بار داشته باشد زیرا ذرات شن همجوار منافذ درشتی در بین خود ایجاد می‌کنند در حالیکه شن در خاک رسی و سیلتی این منافذ را تشکیل نمی‌دهد. بنابراین، مخلوط‌کردن شن در مقادیر متوسط با خاک ریز مخلوطی ایجاد می‌کند که به‌جای خاک شنی بسیار شبیه بتن می‌باشد.

[2] - Perlith

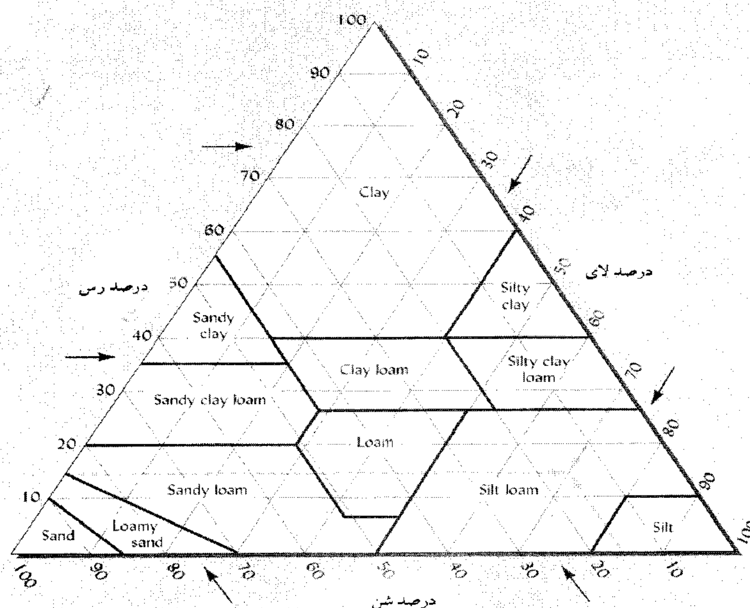
[3] - Peat

[4] - Styrofoam

جدول ۲-۴ واژه‌های عمومی که برای تشریح بافت خاک در ارتباط با اسامی اصلی کلاس بافت خاک به‌کار می‌روند (نظام طبقه‌بندی وزارت کشاورزی آمریکا)

واژه عمومی: نام کلی	واژه عمومی: بافت	اسامی اصلی کلاس بافت خاک
خاک‌های شنی(Sandy Soils)	درشت	شنی(Sand)، شن لومی (Loamy sand)
خاک‌های لومی(Loamy soils)	نسبتاً درشت	لوم شنی (Sandy loam) لوم شنی ریز (Fine sandy loam)
	متوسط	لوم شنی خیلی ریز* (Very fine sandy loam)، لوم(Loam)، لوم سیلتی(Silty loam) و سیلت(Silt)
	نسبتاً ریز	لوم رسی شن دار(Sandy clay loam) لوم رسی سیلت دار(Silty clay loam) لوم رسی(Clay loam)
خاک‌های رسی(Clayey soils)	ریز	رس شنی(Sandy clay)، رس سیلتی(Silty clay) و رسی(Clay)

* این اسامی به‌عنوان کلاس بافت در شکل ۸-۴ نیامده است اما به‌خاطر میزان شن ریز با آن‌ها جداگانه رفتار می‌شود.



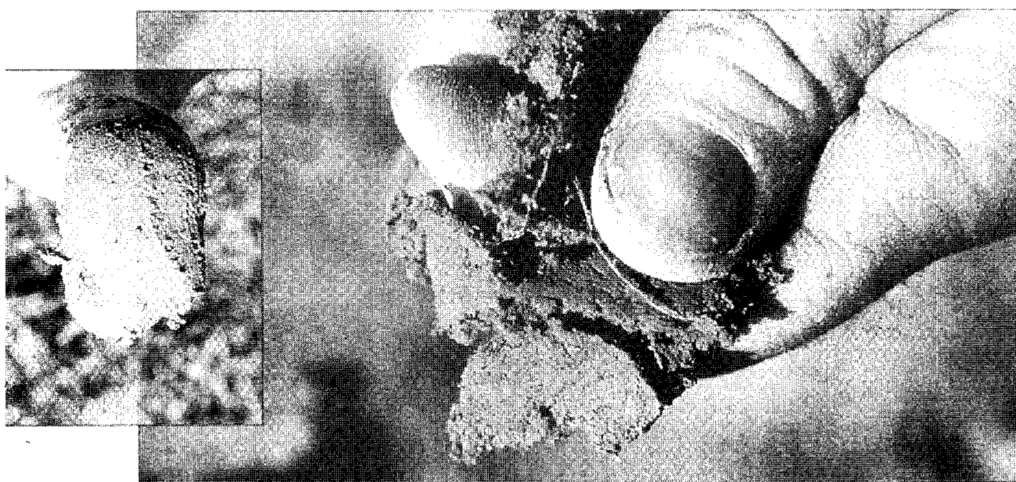
شکل ۸-٤ مهمترین کلاس‌های بافت خاک به‌وسیله‌ی درصد شن، لای و رس، با توجه به خطوط پر رنگ مرزهای بافت در مثلث بافت خاک مشخص می‌شوند. اگر این درصدها برای یک نمونه‌ی خاک با تجزیه اندازه‌ی ذرات تعیین شود آن‌وقت مثلث بافت خاک می‌تواند برای تعیین نام بافت خاک درآن نمونه به‌کار رود. برای استفاده از این مثلث میزان رس را در ضلع سمت چپ مثلث مشخص نموده و خطی در عرض مثلث به‌موازات قاعده (درصد شن) ترسیم کنید. بعد میزان شن را در قاعده‌ی مثلث تعیین نموده و خطی به‌موازات محور لای ترسیم کنید. پیکان‌های کوچک در شکل مسیر درست را برای کشیدن این خط‌ها نشان می‌دهند. محل برخورد این دو خط در هر یک از خانه‌های ۱۲ گانه‌ی داخل مثلث، بافت خاک نمونه را مشخص می‌سازد. داشتن دو عدد از سه عدد درصد هر یک از بخش‌های خاک برای تعیین بافت کافی می‌باشد. از آنجاکه مجموع درصد شن و رس ولای می‌باید ۱۰۰ گردد با داشتن دو رقم درصد درصد سومی نیز مشخص می‌شود. اگر از هر سه درصد استفاده شود باید خطوط هم‌دیگر را در یک نقطه قطع کنند. برای مثال، ملاحظه کنید خاکی که دارای ۱۵ درصد شن، ۱۵ درصد رس و ۷۰ درصد لای باشد. بافت آن با توجه به خطوط منقطع در داخل محدوده‌ی لوم سیلتی در مثلث بافت خاک قرار می‌گیرد. کلاس بافت نمونه خاک دیگری با ۳۳ درصد رس، ۳۳ درصد سیلت و ۳۳ درصد شن کدام است، خطوط در این نمونه‌ی دوم در محدوده‌ی لوم رسی هم‌دیگر را قطع می‌کنند (خطوط ترسیم نشده).

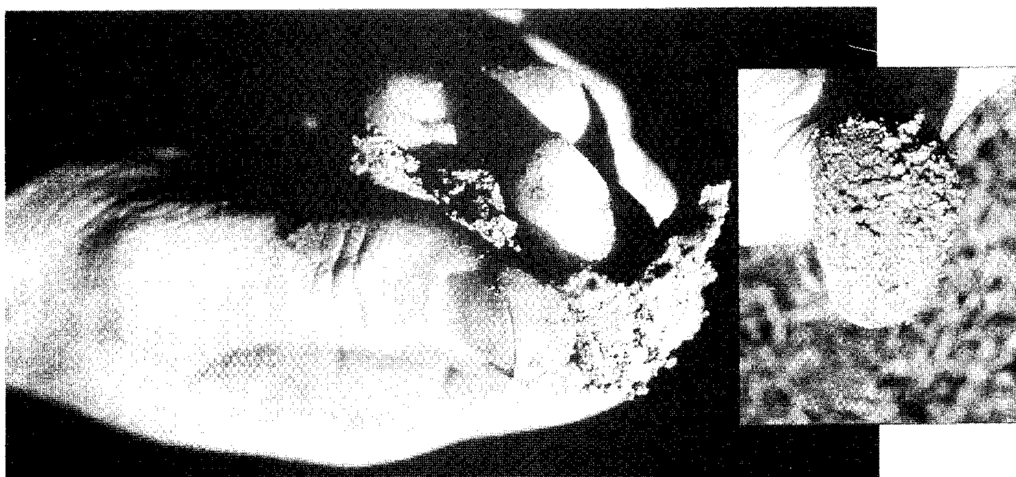
مهم این است توجه کنیم که کلاس اندازه‌ی ذرات تنها بر اساس ذرات معدنی در اندازه شن و یا ریزتر مشخص می‌شود. بنابراین مجموع درصد شن، لای و رس مجموعاً به ۱۰۰ می‌رسد. مقدار سنگ و سنگ‌ریزه جداگانه درجه‌بندی می‌شود. ماده‌ی آلی معمولاً قبل از تجزیه مکانیکی به‌وسیله‌ی اکسیده‌کردن از خاک جدا می‌شود.

رابطه‌ی بین این تجزیه‌های مکانیکی و نام کلاس‌های بافت معمولاً به‌وسیله‌ی مثلث بافت خاک نشان داده شده است (شکل ۸-٤) مثلث بافت خاک ما را قادر می‌سازد که از تجزیه‌ی آزمایشگاهی اندازه ذرات برای تأیید صحت اندازه‌گیری بافت خاک به‌وسیله‌ی لمس استفاده کنیم.

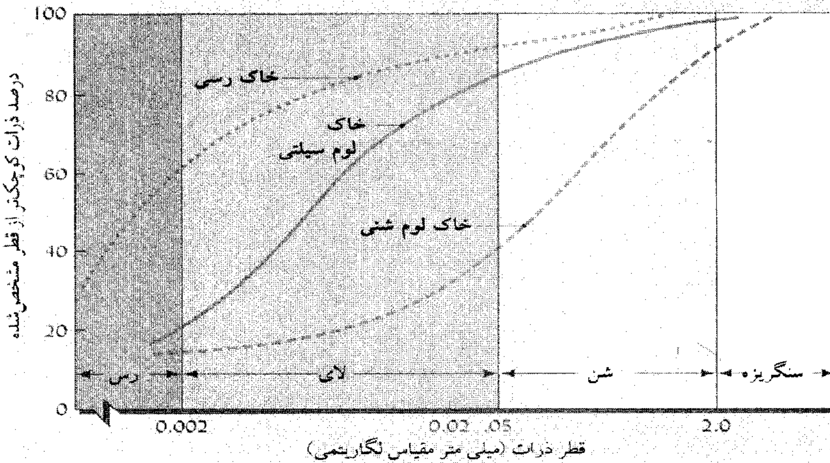
تابلو ۲-٤ روشی برای تعیین بافت خاک به‌وسیله‌ی لمس‌کردن
قدم اول و بسیار اساسی در روش تعیین بافت خاک به‌وسیله‌ی لمس‌کردن، مالش دادن یک گلوله‌ی خمیری از خاک مرطوب در اندازه‌ی گردو در روی انگشت شست همانند بتانه یکنواخت می‌باشد. در صورت نیاز آرام آرام آب به آن اضافه کنید این مرحله ممکن‌است چند دقیقه بطول انجامد اما، آزمون یک نمونه‌ی خوب آماده نشده ممکن‌است سبب ایجاد اشتباه گردد، زیرا خاکدانه‌های سخت رس و لای ممکن‌است دارای احساس ذرات شن گردند. خاک باید مرطوب بوده اما کاملاً براق نباشد. تلاش کنید که این کار را فقط با یکدست انجام دهید تا دست دیگر شما برای نوشتن در دفترچه‌ی صحرایی (و دست دادن با افراد) تمیز باقی بماند.
هنگام فشاردادن و خمیرکردن نمونه، به شکل‌پذیری، چسبندگی، سفتی و تمام خصوصیاتی که با میزان رس در ارتباط است توجه کنید. میزان لای زیاد سبب می‌شود که نمونه صاف و ابریشم مانند با چسبندگی و مقاومت کمی به تغییر شکل احساس گردد. خاک حاوی مقدار قابل‌توجه شن، خشن و زبر احساس می‌گردد و هنگام مالش روی هم‌دیگر در کنار گوش صدای آسیاب‌شدن شنیده می‌شود.
برای تعیین مقدار رس سعی کنید با فشاردادن یک گلوله از خاک که به‌میزان مناسب مرطوب شده است در بین انگشت شست و بغل انگشت اشاره نواری از خمیر درست کنید. تا آنجا که می‌توانید نوار خمیری را طولانی‌تر درست کنید تا این‌که در اثر وزن خود نوار بشکند (شکل ۹-٤ را مشاهده کنید).
مشاهدات خود را مطابق زیر تفسیر کنید.
۱- خاک‌هایی که فاقد چسبندگی بوده وبه‌صورت گلوله در نمی‌آیند و از هم جدا می‌شوند — شن
۲- خاک‌هایی که تشکیل گلوله می‌دهند اما نوار تشکیل نمی‌دهند
۳- نوار خاک با رنگ مات که با طول کمتر از ۲/۵ سانتی‌متر می‌شکند
الف ـ صدای آسیاب‌شدن شنیده می‌شود، لمس و احساس زبری غالب است — لوم شنی
ب ـ احساس و لمس صافی، آردی غالب است و صدای آسیاب‌شدن شنیده نمی‌شود — لوم سیلتی
ج ـ احساس زبری و صاف‌بودن کم بوده و صدای آسیاب‌شدن شنیده نمی‌شود — لوم
٤-خاک از خود چسبندگی و سفتی متوسط نشان داده و نوارهایی با طول ۵-۲/۵ سانتی‌متر تشکیل می‌دهد
الف ـ صدای برخورد ذرات شنیده می‌شود و احساس زبری غالب است
ب ـ احساس صاف‌بودن و آردی‌بودن غالب است
ج ـ زبری و صاف‌بودن اندک است و صدای برخورد ذرات به‌خوبی شنیده نمی‌شود — لوم رسی
۵-چسبندگی و سفتی در خاک غالب است و خاک نوارهای براق با طول بیش از ۵ سانتی‌متر تشکیل می‌دهد
الف ـ صدای برخورد ذرات شنیده می‌شود و زبری احساس غالب است — رس شنی
ب ـ احساس صاف‌بودن و آردی‌بودن غالب است و صدای زبری شنیده نمی‌شود — رس سیلتی
ج ـ زبری و صاف‌بودن اندک و صدای برخورد به‌خوبی شنیده نمی‌شود — رسی
یک برآورد دقیق‌تر از میزان شن (و بنابراین جای‌گذاری درست‌تر آن‌ها در محور افقی مثلث بافت خاک) می‌توان با خیس‌کردن یک تکه از خاک به‌اندازه نخود در کف دست و پخش آن با نوک انگشتان تا این‌که تا کف دست با یک محلول مواد معلق خاکی همانند سوپ پوشیده شود. ذرات شن به‌طور قابل‌مشاهده بیرون آمده و حجم آنها را با مقایسه با حجم نخود اولیه می‌توان برآورد نمود و همین‌طور اندازه‌ی (ریز،متوسط،درشت) آنها را مشخص کرد.
بهترین راه یادگرفتن روش استفاده از نمونه‌ها با کلاس بافت معلوم‌است، با تمرین می‌توان کلاس بافت به‌طور صحیح در محل تعیین کرد







شکل ۹-٤ روش لمس‌کردن برای تعیین کلاس‌های بافت خاک. یک نمونه‌ی مرطوب بین انگشتان شست و اشاره مالش داده(عکس جایگذاری شده) و فشرده می‌شود تا یک نوار تشکیل دهد.(الف) ظاهر زبر غیرچسبنده وطول نوار کوچک درخاک لوم شنی باحدود ۱۵ درصد رس. (ب) ظاهر صاف ومات وشکسته‌شدن نوار که خصوصیت لوم سیلتی است.(ج) ظاهر صاف و براق و نوار طویل قابل انعطاف رس(جعبه‌ی۲-٤ رامشاهده کنید).



شکل ۱۰-٤ توزیع اندازه‌ی ذرات در سه نوع خاک با بافت‌های بسیار متفاوت، توجه کنید که توزیع اندازه ذرات در هر یک از این خاک‌ها تدریجی می‌باشد.

تابلو ۳-٤ قانون استوکس در محاسبه‌ی اندازه ذرات با روش ته‌نشینی

شرح کامل قانون استوکس به ما می‌گوید که سرعت یک ذره در حال ته‌نشینی در داخل یک سیال به‌طور مستقیم در ارتباط با نیروی ثقل (**g**)، تفاوت بین چگالی ذرات و چگالی آب ((D_s-D_f))، و توان دوم قطر مؤثر (d^2) می‌باشد. سرعت ته‌نشینی به‌طور عکس در ارتباط با گرانروی و یا ضخامت سیال η می‌باشد. از آنجاکه سرعت مساوی فاصله (**h**) تقسیم بر زمان (**t**) می‌باشد می‌توان قانون استوکس را به‌صورت زیر نوشت:

$$V = \frac{h}{t} = d^2 g(D_s - D_f)/18\eta$$

که در آن **g**: عبارتست از شتاب ثقل و مساوی ۹/۸ نیوتن در کیلوگرم (NKg^{-1}) می‌باشد.

η: عبارتست از گرانروی آب در ۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و مساوی ۰/۰۰۱ نیوتون ثانیه بر متر مربع ($10^{-3}NSm^{-2}$).

Ds: عبارتست از چگالی ذرات جامد که برای اکثر خاک‌ها مساوی $۲/۶۵\times۱۰^{۳}$ Kgm^{-3} می‌باشد.

Df: عبارتست از چگالی سیال (آب) مساوی است با: ۱×۱۰^{۳} Kgm^{-3}

با جایگذاری این ارقام در معادله می‌توانیم بنویسیم

$$V = \frac{h}{t} = \frac{d^2 \times 9.81NKg^{-1} \times (2.65\times10^{-3}Kgm^{-3} - 1\times10^{3}Kgm^{-3})}{18\times10^{-3}Nsm^{-2}} = \frac{9\times10^5 d^2}{sm} = Kd^2$$

که در آن **K** مساوی است با:

$$K = \frac{9\times10^5}{sm}$$

توجه کنید که **$V=Kd^2$** همان فرمول ساده شده است که در کتاب ارائه گردیده‌است.

اجازه دهید که یک نمونه از محلول را در عمق ۰/۱ متر انتخاب کنیم. ما زمان ته‌نشینی را که باید بگذاریم تا کوچک‌ترین ذرات لای از عمق مورد نظر عبور کرده وما در آن عمق فقط رس را داشته باشیم می‌توانیم حساب کنیم. با توجه به این‌که هر **h=0.1** و کوچک‌ترین ذره‌ی لای دارای قطر ۰/۰۰۲ میلی‌متر است $(d = 2\times10^{-6}m)$ می‌توانیم معادله را برای تعیین **t** بنویسیم.

$$V = \frac{h}{t} \Rightarrow t = \frac{h}{V} = h/kd^2$$

$t = ۰/۱\ m\ /(۲\times۱۰^{-۶}\ m)^2 \times ۹\times۱۰^{۵}\ S^{-1}m^{-1}$ = ۲۷۷۷۷ ثانیه = ۷/۷۲ ساعت

در مقایسه کوچک‌ترین ذرات شن (**d = 0.05 mm**) همان مسیر ۱۰ سانتی متری را در مدت ٤٤ ثانیه طی خواهد کرد.

۱- قانون استوکس در مورد ذرات صاف گرد صادق است از آن‌جاکه اکثر ذرات خاک نه صاف هستند و نه گرد، روش‌های ته‌نشینی قطر مؤثر نه ضرورتاً قطر واقعی ذرات خاک را مشخص می‌سازد.

٤-٤ ساختمان خاک‌های معدنی

واژه‌ی ساختمان خاک در ارتباط با تجمع و ترتیب قرارگرفتن ذرات خاک می‌باشد این خصوصیات به‌طور کلی ترتیب و طرز قرارگرفتن اجزاء اولیه‌ی خاک را در گروه‌های ثانویه، که به آن خاکدانه‌ها[1] گفته می‌شود مورد تشریح قرار می‌دهد. شرایط و خصوصیات خاک مانند حرکت آب، انتقال گرما، تهویه و تخلخل، به‌مقدار زیادی تحت تأثیر ساختمان قرار می‌گیرند. عملیاتی چون قطع درختان، چرای احشام، خاک‌ورزی، حمل و نقل، زه‌کشی، آهک دادن و کود دامی دادن با تغییر در ساختمان خاک به‌خصوص، در لایه‌های سطحی، تا حد زیادی در خصوصیات خاک تأثیر می‌گذارند.

فرایندهای مؤثر در تشکیل، پایداری و مدیریت ساختمان خاک در بخش ٤-۷ و ٤-۸ تشریح خواهند شد. در اینجا ما طبیعت انواع مختلف ساختمان‌ها را در واحدهای ساختمانی خاک بررسی می‌کنیم.

انواع ساختمان‌های خاک

انواع بسیاری از اشکال واحدهای ساختمانی[2] در خاک‌ها، اغلب در افق‌های مختلف یک خاکرخ وجود دارند، ساختمان خاک به‌وسیله‌ی واژه‌های شکل (نوع)، اندازه و میزان وضوح (درجه) واحدهای ساختمانی مشخص می‌شوند.

چهار نوع ساختمان اصلی عبارتند از کروی[3]، بشقابی[4]، منشوری[5] و مکعبی[6]. این انواع اشکال ساختمانی (و انواع فرعی‌تر) در شکل ٤-۱۱ تشریح شده‌اند و در زیر مورد بررسی قرار می‌گیرند:

۱- ساختمان کروی : ساختمان گرد دانه ای[7] شامل واحدهای ساختمانی کروی و یا گرد دانه می‌باشند که معمولاً در یک حالت سست از هم‌دیگر جدا می‌باشند (شکل ٤-۱۱ الف را مشاهده کنید). وقتی گرد دانه‌های کروی به‌خصوص متخلخل باشند به آن‌ها گاهی اسفنجی[8] اطلاق می‌شود. قطر آن‌ها معمولاً کمتر از ۱ تا بیشتر از ۱۰ میلی‌متر تغییر می‌کند.

ساختمان‌های دانه‌دانه‌ای و اسفنجی خصوصیت لایه سطحی بسیاری از خاک‌ها (افق A) به‌خصوص خاک‌های دارای ماده‌ی آلی زیاد می‌باشند. بنابراین، آن‌ها به‌ویژه در خاک‌های چمن‌زارها و خاک‌های دارای کرم خاکی به‌وفور وجود دارند.

۲- ساختمان بشقابی : در این نوع ساختمان، خاکدانه‌ها (واحدهای ساختمانی خاک) از صفحات تقریباً نازک افقی و یا صفحه مانند تشکیل شده‌اند. ساختمان بشقابی ممکن‌است در افق‌های سطحی و یا زیر سطحی یافت شود. در اکثر موارد بشقاب‌ها براثر فرایندهای خاک‌سازی به‌وجود آمده‌اند. هرچند برخلاف سایر اشکال ساختمانی، ساختمان بشقابی ممکن‌است از مواد مادری منشاء گرفته باشد، به‌خصوص موادی که به‌وسیله‌ی آب و یا یخ ته‌نشین شده باشند. در بعضی موارد ساختمان بشقابی می‌تواند براثر تراکم خاک‌های رسی به‌وسیله‌ی ماشین‌آلات سنگین به‌وجود آید (شکل ٤-۱۱ب را ملاحظه کنید).

۳- ساختمان مکعبی: واحدهای ساختمان مکعبی دارای شکل نامنظم و تقریباً مکعبی (شکل ٤-۱۲) بوده و اندازه‌ی آن‌ها از ۵ تا ۵۰ میلی‌متر متغیرمی‌باشد. قطعات جداگانه و به‌طور مستقل تشکیل نشده‌اند بلکه به‌وسیله‌ی شکل قطعات اطراف قالب گرفته‌اند. وقتی لبه‌ی قطعات تیز و دارای سطوح مکعبی مشخص باشد نوع فرعی مکعبی زاویه‌دار[9] نامیده می‌شود (شکل ٤-۱۱ ج). وقتی زاویه‌ها گرد شده باشند به آن خاکدانه، شبه‌مکعبی و یا فندقی[10] اطلاق می‌شود (شکل ٤-۱۱ د) این نوع ساختمان معمولاً در افق B یافت شده و سبب ارتقاء زه‌کشی، تهویه و توسعه‌ی ریشه‌ها می‌شود.

٤- ساختمان منشوری : ساختمان ستونی[11] و منشوری[12] به‌وسیله‌ی واحدهای ساختمانی جهت‌یافته عمودی و یا ستون‌هایی با ارتفاع متفاوت در خاک‌های مختلف به‌وجود می‌آید و ممکن‌است قطر آن‌ها به ۱۵ سانتی‌متر و یا بیشتر برسد. ساختمان ستونی (شکل ٤-۱۱) که

---

1 - Aggregates
2 - Ped
3 - Spheroidal
4 - Platy, Plate like
5 - Prism like
6 - Blocky, Block like
7 - Granular
8 - Crumb
9 - Angular
10 - Subangular
11 - Colummnar
12 - Prismatic

دارای ستون‌هایی با رأس مشخص گردشده می‌باشند، به‌خصوص در خاک‌های تحت‌الارضی که دارای سدیم زیادی است یافت می‌شوند (افق ناتریک بخش ۲-۳). وقتی رأس منشورها نسبتاً زاویه‌دار و مسطح باشد به آن‌ها ساختمان منشوری اطلاق می‌شود(شکل ۱۱-٤ و). هر دو نوع ساختمان منشوری اغلب با رس‌های منبسط شونده همراه می‌باشند. آن‌ها معمولاً در افق‌های زیرین خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک وجوددارند، چنان‌چه به‌خوبی شکل گرفته باشند، چهره‌ی خالی در خاکرخ به‌وجود می‌آورند. در مناطق مرطوب ساختمان منشوری بعضی مواقع در خاک‌ها با زه‌کشی ضعیف و خاک‌های فراجی پن[1] (خاک‌های حاوی سخت لایه ترد و شکننده) (شکل ۳-٦) وجوددارند. در این نوع ساختمان آخری پهنای منشورها ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر است.

تشریح ساختمان خاک در صحرا

وقتی دانشمندان خاک را برای طبقه‌بندی تشریح می‌کنند (جدول ۱-۱۹) نه تنها به شکل واحدهای ساختمانی حاضر توجه می‌کنند بلکه به اندازه‌ی نسبی (ریز، متوسط، درشت) و درجه‌ی تکامل و وضوح واحدهای ساختمانی (قوی[2]، متوسط[3]، ضعیف[4]) آن‌ها را مورد توجه قرار می‌دهند.برای نمونه افق خاک نشان داده شده در شکل ۱۱-٤- د به‌صورت ساختمان ضعیف، ریز، مکعبی فندقی تشریح می‌گردد. معمولاً مشاهده ساختمان یک خاک در حالت نسبتاً خشک آسان‌تر است. وقتی خاک خیس باشد، واحدهای ساختمانی ممکن‌است انبساط یافته و ذرات را تحت فشار قرار داده و سبب گردد واحدهای ساختمانی جدا از هم کمتر مشخص گردند. در هر حال وضعیت ساختمانی ذرات خاک و فضای بین واحدهای ساختمانی تأثیر بسیار زیادی در چگالی خاک دارد. جنبه‌ای از مهرازی خاک که هم اکنون با جزییات بیشتر مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

٤-۵ چگالی خاک

چگالی ذرات

چگالی ذرات جامد خاک (Dp) به‌صورت مقدار جرم در واحد حجم ذرات جامد خاک (نه در واحد حجم کل خاک که شامل هوای بین ذرات نیز می‌باشد) بیان می‌شود. در نظام متر یک واحد آن مگاگرم در مترمکعب است. بنابراین اگر یک مترمکعب ذرات جامد خاک ۲/٦ مگاگرم وزن داشته باشد، چگالی ذرات خاک ۲/٦ می‌باشد.

چگالی ذرات اساساً همان ثقل مخصوص[5] مواد جامد است. ترکیب شیمیایی و ساختمان بلوری یک کانی تعیین‌کننده چگالی ذرات آن می‌باشد. چگالی ذرات تحت تأثیر منافذ خاک قرار نمی‌گیرد. بنابراین در ارتباط با اندازه ذرات و یا طرز قرارگرفتن ذرات(ساختمان خاک) نمی‌باشد.

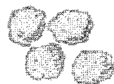
چگالی ذرات برای اکثر خاک‌های معدنی در محدوده‌ی ۲/٦ تا ۲/۷۵ مگاگرم در مترمکعب می‌باشد. زیرا کوارتز، فلدسپات، میکا و سیلیکات‌های کلوییدی که بخش عمده‌ای از خاک‌های معدنی را می‌سازند دارای چگالی در همین محدوده می‌باشند. برای محاسبات کلی در ارتباط با خاک‌های معدنی زراعی سطحی (با ۱ تا ۵ درصد ماده‌ی آلی) اگر چگالی ذرات واقعی معلوم نباشد عدد ۲/٦۵ را در نظر می‌گیریم. این عدد برآورد شده برای برخی از خاک‌ها باید تعدیل یابد، مثلاً وقتی مقدار زیادی کانی‌ها با چگالی زیاد (مانند مگنتیت[6]، گارنت[7]، اپیدوت[8]، زیرکون[9]، تورمالین[10] و هورنبلند[11] حضور داشته باشند چگالی ذرات خاک باید از ۳ مگاگرم در مترمکعب بیشتر گردد. ماده‌ی آلی با چگالی ذرات ۰/۹ تا ۱/۳ مگاگرم در مترمکعب دارای چگالی بسیار کمتری از ذرات معدنی می‌باشد. بنابراین خاک‌های معدنی سطحی با مقدار زیادی از ماده‌ی آلی (۱۵ تا ۲۰ درصد) ممکن‌است دارای چگالی ذرات پایین‌تر از ۲/٤ مگاگرم در مترمکعب باشند. خاک‌های آلی شاخص (هیستوسول‌ها) دارای چگالی ذرات بین ۱/۱ تا ۲ مگاگرم در مترمکعب می‌باشند.

---

1 - Fragipan
2 - Strong
3 - Moderate
4 - Weak
5 - Specal gravity
6 - Magnetite
7 - Garnet
8 - Epidote
9 - Zircon
10 - Tormaline
11 - Hornblend

کروی
خصوصیت افق سطحی (A) در معرض تغییرات گسترده سریع

خاکدانه ای (متخلخل)

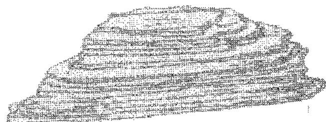


اسفنجی (خیلی متخلخل)





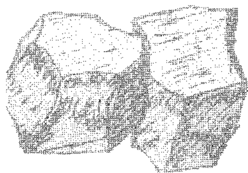
بشقابی
در افق E معمول است، ممکن است در هر بخش پروفیل وجود داشته باشد، معمولاً از مواد مادری خاک و یا تراکم ناشی شده است.





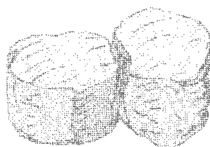
مکعبی
در افق B بخصوص در مناطق مرطوب معمول است. ممکن است در افق A هم پیدا شود.

مکعبی زاویه دار





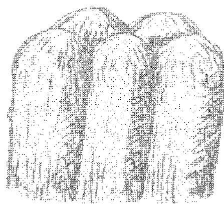
مکعبی گرد (فندقی)





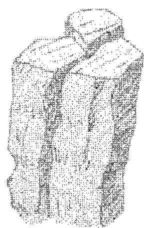
منشوری
معمولاً در افق B یافت می شود و در خاکهای مناطق خشک و نیمه خشک بسیار معمول است.

ستونی (با رأس گرد شده)





منشوری (با رأس صاف زاویه دار)





شکل ۱۱-٤ انواع اشکال ساختمانی متعدد که در خاک‌های معدنی یافت می‌شود. موقعیت معمولی هریک بیان شده‌است. نقاشی‌ها چهره‌های اساسی آن‌ها را تشریح می‌کند و عکس‌ها موقعیت آن‌ها را در محل نشان می‌دهد. طول مداد ۱۵ سانتی‌متر است (ه) و عرض تیغه کارد ۳ سانتی‌متر (د-و) مقیاس را نشان می‌دهد.

چگالی ظاهری خاک‌های معدنی[1]

استاندارد مهم دوم در اندازه‌گیری جرم خاک چگالی ظاهری (Db) است که به صورت مقدار جرم در واحد حجم کل خاک خشک بیان می‌شود و حجم کل خاک شامل حجم ذرات جامد و حجم خلل وفرج با هم می‌باشد. مطالعه‌ی دقیق شکل ۱۳-٤ تفاوت آشکار بین چگالی حقیقی و ظاهری را مشخص می‌سازد. هر دو چگالی فقط از جرم مواد جامد استفاده می‌کند بنابراین، آب موجود در نظر گرفته نمی‌شود.

1 - Bulk densily

چند روش عملی دیگر[1] برای تعیین چگالی ظاهری خاک وجوددارد که همگی آن‌ها متکی به به‌دست‌آوردن حجم به‌خصوصی از خاک و خشک‌کردن آن برای حذف آب و توزین وزن خشک است. از یک وسیله برداشت مغزه (شکل ۱۴-٤) برای نمونه برداری از خاک با حجم مشخص می‌توان بدونِ به‌هم‌زدن ساختمان خاک طبیعی استفاده کرد. برای خاک‌های سطحی شاید ساده‌ترین روش حفر یک حفره کوچک و جمع‌آوری تمام خاک‌های حفاری شده و سپس پوشش دادن تمام حفره به‌وسیله‌ی یک لایه پلاستیک نازک و پرکردن آن با حجم مشخص آب باشد. روش دیگر، پوشش‌دادن کلوخه‌ای از خاک با لایه‌ای از مواد نفوذناپذیر (پارافین) می‌باشد. حجم این کلوخه‌ها را می‌توان با میزان سبک‌شدن جسم در آب به‌دست آورد.



شکل ۱۲-٤ واحدهای ساختمانی قوی متوسط زاویه‌دار مکعبی در افق B یک خاک الفی‌سول (استالف) در منطقه‌ی نیمه‌خشک. نوک چاقو سبب جداکردن یک واحد مکعبی شده است. به رنگ روشن پوشش رس آبشویی‌شده‌ی سطحی که سبب مشخص‌شدن و اتصال واحدها می‌شود. توجه کنید.

عوامل مؤثر در چگالی ظاهری

خاک‌ها با نسبت بالایی از منافذ، دارای چگالی ظاهری کمتری نسبت به خاک‌های متراکم با حجم منافذ کمتر می‌باشند. درنتیجه هر عاملی که در حجم منافذ خاک تأثیر بگذارد در چگالی ظاهری نیز مؤثر می‌باشد. میزان تغییرات شاخص چگالی ظاهری در مواد خاکی و شرایط مختلف در شکل ۱۵-٤ تشریح شده است. مطالعه‌ی این ارقام برای درک خوب این دامنه تغییرات چگالی ظاهری ارزشمند است.

تأثیر بافت خاک

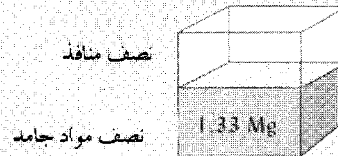
همان‌گونه که در شکل ۱۵-٤ آمده است خاک‌های بافت ریز مانند لوم سیلتی، رس‌ها و لوم رسی معمولاً دارای چگالی ظاهری کمتر از خاک‌های شنی[2] می‌باشند. این درست است، زیرا ذرات جامد خاک‌های بافت ریز تمایل‌دارند که به‌صورت ذرات متخلل و درصورت وجود ماده‌ی آلی به‌مقدار کافی به‌صورت خاکدانه‌ها تشکل یابند. در این خاک‌ها، منافذ دربین ودر داخل گرددانه‌ها وجود دارند. این شرایط سبب بالابردن حجم کل منافذ و چگالی ظاهری پایین خواهد شد. در خاک‌های شنی مقدار ماده‌ی آلی معمولاً پایین بوده و ذرات جامد نزدیک هم قرار می‌گیرند. درنتیجه، چگالی ظاهری معمولاً بیشتر از خاک‌های بافت ریز می‌باشد. شکل ۱۶-٤ بیانگر این مفهوم است که خاک‌های شنی دارای میزان منافذ درشت شبیه منافذ خاک‌های بافت ریز با خاکدانه‌های مناسب می‌باشند اما دارای منافذ ریز اندک در داخل خاکدانه‌ها بوده و بنابراین، دارای تخلخل کل کمتری می‌باشند.

---

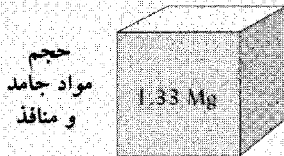
[1] - یک روش دقیق که مقاومت خاک را در مقابل انتشار اشعه‌ی گاما مشخص می‌سازد و در مطالعات خاک‌شناسی مورد استفاده می‌باشند. در این کتاب مورد تشریح قرار نمی‌گیرد.

[2] - این واقعیت ممکن است ابتدا با توجه به شواهد متضاد به‌نظر برسد، زیرا به‌طور عمومی به خاک‌های شنی خاک‌های سبک اطلاق می‌شود درحالی‌که به خاک‌های رسی و لومی رس، خاک‌های سنگین، واژه‌های سبک و سنگین در این مورد در ارتباط با چگالی در واحد حجم نیست بلکه در ارتباط با میزان کار لازم برای مدیریت این خاک‌ها درعملیات خاک‌ورزی می‌باشد. در خاک‌های چسبنده رسی عملیات خاک‌ورزی بسیار مشکل است.

اگر تمام مواد جامد به پایین فشرده شوند مکعب به صورت زیر می باشد.



در مزرعه یک متر مکعب از خاک خاص به صورت زیر مشاهده می شود.



برای محاسبه چگالی ذرات:

وزن = 1.33 Mg (فقط مواد جامد) — حجم = $0.5\ m^3$ (فقط مواد جامد)

$$\text{چگالی ذرات} = \frac{\text{وزن مواد جامد}}{\text{حجم مواد جامد}}$$

بنابراین

چگالی ذرات $D_p = \frac{1.33}{0.5} = 2.66\ Mg/m^3$

برای محاسبه چگالی ظاهری خاک:

وزن = 1.33 Mg فقط ذرات جامد — حجم = $1\ m^3$ (منافذ+ مواد جامد)

$$\text{چگالی ظاهری} = \frac{\text{وزن خاک خشک شده در کوره}}{\text{حجم خاک}}$$

(حجم مواد جامد+ حجم منافذ)

بنابراین

چگالی ظاهری $D_b = \frac{1.33}{1} = 1.33\ Mg/m^3$

شکل ۱۳-٤ چگالی ظاهری Db و چگالی ذرات خاک Dp. چگالی ظاهری عبارتست از وزن ذرات جامد خاک در حجم مشخص خاک مزرعه (حجم ذرات جامد و حجم منافذ اشغال‌شده به‌وسیله‌ی آب‌وهوا). چگالی ذرات عبارتست از وزن ذرات جامد خاک در حجم مشخص همان ذرات خاک. چگونگی انجام محاسبات را با دقت پی‌گیری کنید. در این حالت خاص چگالی ظاهری نصف چگالی ذرات بوده و خاک دارای ۵۰ درصد تخلل است.



(الف)



(ب)

شکل ١٤-٤ یک نمونه‌بردار خاص برای برداشت نمونه‌ی استوانه‌ای از خاک بدون به‌هم‌زدن و یا تراکم خاک (الف). سر نمونه‌بردار شامل یک استوانه داخلی بوده و به‌وسیله‌ی ضربات یک چکش افتان در داخل خاک فرو می‌رود (ب). استوانه‌ی داخلی شامل یک مغزه به‌هم‌نخورده است که از استوانه بیرونی جدا شده و با چاقو دو انتهای آن تراشیده شده تا حجم آن به‌سادگی با ضرب‌کردن سطح قاعده استوانه در ارتفاع آن به‌دست آید. وزن این مغزه خاکی پس از قرارگرفتن در کوره به‌مدت ٢٤ ساعت در ۱۰۵ درجه تعیین خواهد شد.

درحالی‌که خاک‌های شنی معمولاً دارای چگالی ظاهری بالایی می‌باشند طرز قرارگرفتن ذرات نیز در چگالی ظاهری آن‌ها مؤثر است. (شکل ۱۷-٤ را مشاهده کنید). ذرات متراکم نشده ممکن‌است ۵۲ درصد حجم توده را اشغال کنند درصورتی‌که ذرات متراکم شده تا ۷۵درصد حجم را اشغال می‌کنند[1]. چگالی ظاهری ذرات شن اگر از ذرات هم‌اندازه تشکیل شده باشند (ذرات جور[2]) معمولاً کمتر خواهد بود. درصورتی‌که مخلوطی از اندازه‌های مختلف (دانه‌بندی خوب[3]) دارای چگالی ظاهری بیشتری می‌باشد. در نمونه‌ی آخری ذرات کوچک‌تر فضاهای منافذ بین ذرات درشت را به‌طور نسبی پر می‌کنند. مواد دارای بالاترین چگالی، مخلوطی از اندازه‌های مختلف شن بوده که کاملاً متراکم شده‌اند.

عمق خاکرخ : هرچه خاک در عمق بیشتر خاکرخ قرار گرفته باشد، چگالی ظاهری، احتمالاً به‌خاطر میزان ماده‌ی آلی، خاکدانه و ریشه‌ی کمتر، و تراکم اعمال‌شده به‌وسیله‌ی لایه‌های بالایی زیادتر می‌باشد. خاک‌های تحت‌الارضی خیلی متراکم ممکن‌است دارای چگالی ۲ مگاگرم و یا بیشتر در مترمکعب باشند. بسیاری از خاک‌هایی که از ته‌نشست‌های یخچالی تشکیل شده‌اند (بخش ۱۰-۲ را مطالعه کنید) دارای چگالی ظاهری فوق‌العاده زیادی در طبقات پایین براثر تراکم زیاد حاصل از توده‌های یخ می‌باشند.

ارقام مفید چگالی ظاهری

برای مهندسین که در جابه‌جا نمودن خاک برای ایجاد ساختمان شرکت‌دارند و برای معماران فضای سبز که خاک سطحی را برحسب بار کامیونی تهیه می‌کنند، دانستن چگالی ظاهری خاک‌های مختلف در تخمین وزن خاکی که باید جابه‌جا شود مفید می‌باشد. یک خاک معدنی شاخص با بافت متوسط ممکن‌است دارای چگالی ظاهری ۱/۲۵ مگاگرم در مترمکعب باشد[4].

مردم اکثراً از سنگین‌بودن خاک تعجب می‌کنند. فرض کنید که وانت خود را از خاک سطحی یک مزرعه که خاک آن حجمی فروخته می‌شود بخواهید پر کنید، باید بدانید که با این کار محور ماشین خود را خواهید برید و مطمئناً قادر نخواهید بود که با بار حرکت کنید. یک وانت با ظرفیت نیم تن (۱۰۰۰ پوند ویا ٤٥٤ کیلوگرم) می‌تواند کمتر از ٤/۰مترمکعب از این خاک را حمل کند گرچه مخزن بار وانت دارای گنجایش ٦ برابر این رقم است.

طراحی باغچه‌های پشت‌بام کاربرد عملی دیگری را برای چگالی ظاهری ارائه می‌دهد. در این مورد باید جرم خاکی را که موجود است برای طراحی سازه‌ای که آنرا تحمل کند محاسبه کرد. یکی ممکن‌است چمن و یا دیگر گیاهان با ریشه‌ی کم عمق را انتخاب کند، بنابراین از یک لایه‌ی نسبتاً نازک خاک (حدود ۳۰ سانتی‌متر) استفاده می‌کند تا جرم کل خاک خیلی زیاد نگردد. همچنین ممکن‌است با انتخاب خاکی با وزن مخصوص ظاهری کم سبب کاهش هزینه‌ی سازه گردد. هرچند اگر مهارکردن درختان و نباتات به‌وسیله‌ی خاک مطرح باشد خاک‌ها با چگالی کم مانند پیت و پرلیت مخلوط با خاک، مناسب نخواهند بود.

جرم خاک در یک هکتار با عمق معمول شخم (۱۵ سانتی‌متر) را می‌توان با استفاده از چگالی ظاهری تعیین کرد. اگر، چگالی ظاهری را ۱/۳ مگاگرم در مترمکعب برای خاک سطحی شاخص فرض کنیم، یک هکتار از این خاک با عمق کشت ۱۵ سانتی‌متر بیش از ۲ میلیون کیلوگرم وزن خواهد داشت[5]. این برآورد جرم یک هکتار خاک برای محاسبه‌ی آهک و کودهای شیمیایی و میزان معدنی‌شدن ماده‌ی الی (تابلوهای ۱-۸ ، ۳-۹، ۳-۱۰ و ۱-۱۳) بسیار مفید خواهد بود. اگر وزن مخصوص ظاهری و عمق شخم تغییر کند این برآورد جرم باید تنظیم گردد.

---

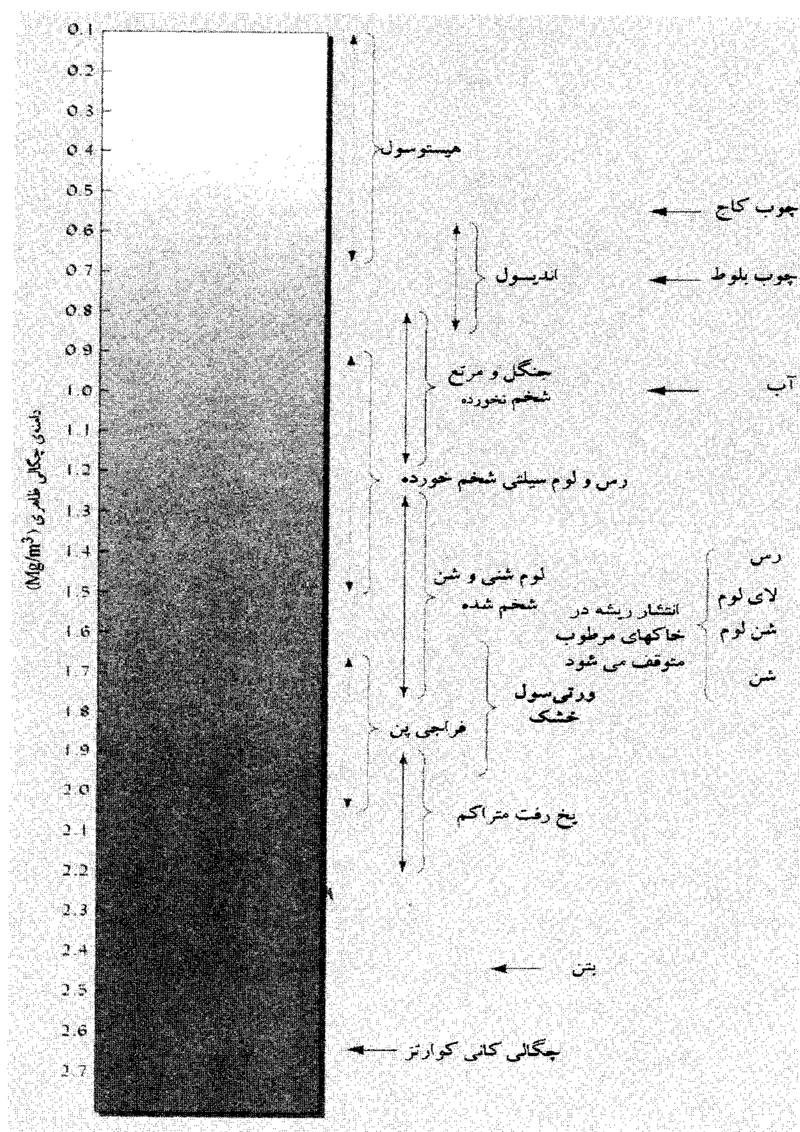
[1] - اگر فرض کنیم که ذرات از کوارتز با چگالی حقیقی ۲/٦٥ مگاگرم در مترمکعب تشکیل شده باشد چگالی ظاهری برای شن سست و متراکم به ترتیب ۱/۳۸ و ۱/۹۹ مگاگرم درمترمکعب خواهد بود (۱/۳۸ = ۲/٦٥ × ۰/۵۲ و ۱/۹۹ = ۲/٦٥ × ۰/۷۵)که با دامنه‌ی تغییرات که درخاک‌های شنی با آن مواجه هستیم چندان تفاوت ندارد.

[2] - Well sorted

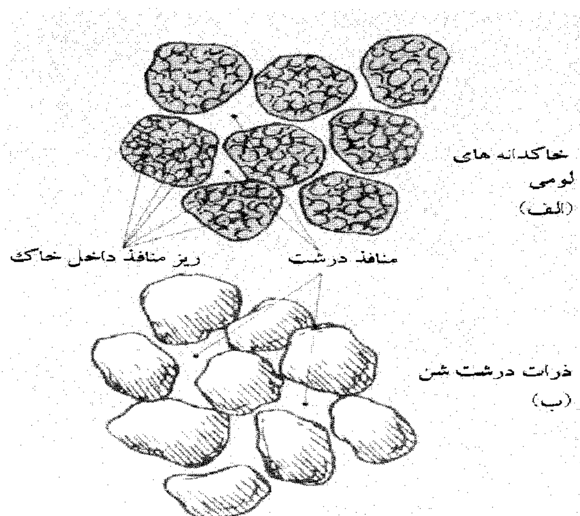
[3] - Well graded

[4] - بیشتر معماران فضای سبز تجارتی و مهندسین در ایالات متحده هنوز از واحدهای انگلیسی استفاده می‌کنند برای تبدیل مقادیر چگالی ظاهری در واحد Mgm^{-3} به lb/yd^3 (پوند دریارد مکعب) انرا باید در ۱٦۸٦ ضرب کنیم بنابراین یک یارد مکعب از خاک معدنی بافت متوسط با چگالی ظاهری ۱/۲۵ Mgm^{-3} بیشتر از یک تن انگلیسی وزن دارد و دارای ۲۱۰۸ پوند وزن است (۱٦۸٦×۱/۲۵)

[5] - $1950\ Mgha^{-1} = Mgm^{-3} \times 1/3 \times 0/15\ m \times 10000\ m^2ha^{-1}$ که تقریباً معادل ۲ میلیون کیلو گرم در هر هکتار با عمق ۱۵ سانتی‌متر می‌باشد. رقم مشابه در نظام انگلیسی ۲ میلیون پوند در یک ایکر با عمق ٦ تا ۷ اینچ می‌باشد

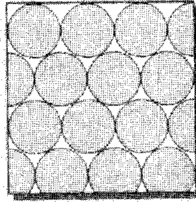


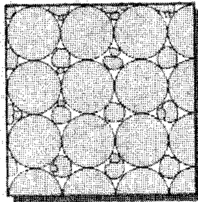
شکل۱۵-٤ چگالی ظاهری شاخص درانواع خاک‌ها و مواد

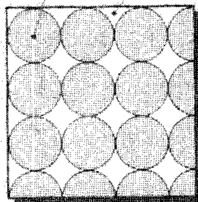


شکل ۱۶-٤ مقایسه‌ی نموداری خاک‌های شنی و رسی نشاندهنده‌ی مقدار نسبی منافذ درشت (ماکروپورها) و منافذ کوچک (میکروپورها) در هر یک. حجم کلی منافذ در خاک‌های شنی در مقایسه با خاک‌های رسی کمتر است زیرا خاک‌های رسی دارای تعداد زیادی منافذ ریز در داخل هر خاکدانه می‌باشند (الف)، اما ذرات شن (ب)، که از نظر اندازه مشابه خاکدانه‌های رسی می‌باشند، فاقد منافذ کوچک در ذرات جامد خود بوده و این دلیل سنگین‌بودن خاک‌های بافت درشت به‌طور معمول درمقایسه با خاک‌های بافت ریز در خاک‌های سطحی می‌باشد.

شکل ۱۷-٤ یکنواختی اندازه ذرات و نحوه چیده‌شدن ذرات در چگالی ظاهری خاک‌های شنی بسیار مؤثر است. به موادی که از ذرات هم‌اندازه تشکیل شده‌اند، خوب دست‌چین‌شده (با دانه‌بندی ضعیف) اطلاق می‌شود. و موادی که دارای اندازه‌های مختلف ذرات می‌باشند، خوب دانه‌بندی‌شده (بد دست‌چین‌شده) اطلاق می‌گردد در هر دو حال، تراکم مواد به‌صورت چیده‌شدن متراکم سبب افزایش چگالی ظاهری مواد و کاهش تخلخل آن خواهد شد. توجه کنید که توزیع اندازه‌ی ذرات شن و سنگریزه می‌تواند به‌وسیله‌ی هر دو واژه، که مخالف یکدیگرند بیان شود. زمین‌شناسان معمولاً از رودخانه‌هایی صحبت می‌کنند که دارای ذرات شن یکنواخت در هنگام ته‌نشینی می‌باشند. مهندسین معمولاً متوجه این قضیه هستند که آیا شن از دانه‌بندی خوب برخوردار است ویا نه


خوب دانه بندی شده
محکم چیده‌شده
(ج)


خوب دانه بندی شده
سست چیده‌شده
(ب)



خوب دست‌چین شده
سست چیده شده
(الف)

عملیات مدیریتی مؤثر در چگالی ظاهری

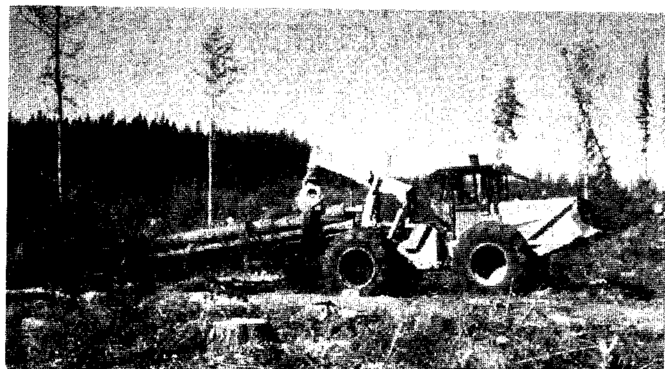
تغییرات در چگالی ظاهری در یک خاک به آسانی اندازه‌گیری شده و می‌تواند مدیران خاک را از تغییرات کیفیت خاک و ایفای نقش بوم‌سامان آگاه کند. افزایش در چگالی ظاهری می‌تواند دلالت بر یک محیط نامناسب برای رشد ریشه، کاهش تهویه و تغییرات نامطلوب در ایفای نقش آب‌شناسی مانند کاهش نفوذپذیری باشد.

اراضی جنگلی : افق سطحی اکثر خاک‌های جنگلی دارای چگالی ظاهری نسبتاً کمتری می‌باشد (شکل ۱۵-٤ را مشاهده کنید). رشد درخت و انجام وظیفه‌ی بوم‌سامان جنگلی مخصوصاً به افزایش چگالی ظاهری حساس است. برداشت سنتی الوار معمولاً سبب به‌هم‌زدن و تراکم ۲۰ تا ٤۰ درصد سطح جنگل می‌شود (شکل ۱۸-٤) و به‌خصوص در طول مسیرهای کشش چوب و محل خالی‌کردن الوار و تل انبارکردن و بارگیری آن‌ها خسارت بار می‌باشد(جدول ۳-٤). یک روش پرهزینه اما مؤثر در انتقال تنه‌ها برای به‌حداقل‌رساندن تخریب اراضی جنگلی ناشی از تراکم، استفاده از سیم‌های انتقال نصب‌شده در بین برج‌ها و یا آویزان به‌وسیله‌ی بالن‌های بزرگ می‌باشد.

استفاده تفرجی شدید از خاک‌های جنگلی می‌تواند منجر به افزایش چگالی ظاهری در مناطقی که دارای رفت‌وآمد شدید است مانند مسیرها و محل‌های چادرزدن گردد (شکل ۹-٤). یکی از پی‌آمدهای مهم افزایش چگالی ظاهری کاهش ظرفیت نفوذپذیری خاک و هدررفت شدید آب براثر رواناب سطحی می‌باشد. خسارت ناشی از پیاده‌روی را می‌توان با محدودکردن رفت‌وآمد پیاده‌روها به مسیرهای خوب طراحی شده، که شامل یک لایه پوشش تراشه‌ی چوب است و یا درصورت وجود اراضی حساس آسیب‌پذیر مانند زمین‌های ماندابی ساختن مسیرهای تخته‌ای بالاآمده از سطح زمین می‌باشد به کمترین مقدار رساند.

درختان کاشته‌شده در خاک‌های متراکم ممکن‌است از رشد عادی بازمانده و یا بمیرند، هرچند بعضی از عملیات می‌توانند در توسعه‌ی عادی ریشه درختان و رشد درخت به ما کمک کنند. در مقدمات بازکاری درختان پس از جنگل‌تراشی کامل، بعضی از خاک‌های جنگلی(به‌خصوص در مناطق نسبتاً مسطح) ممکن‌است به‌وسیله‌ی عملیات خاک‌ورزی مشابه به اراضی کشاورزی (بحث‌های بعدی را مطالعه کنید) نرم و آماده‌ی بستر کشت گردند، هرچند ممکن‌است این عملیات سبب تراکم خاک‌های تحت‌الارض و هدررفت ماده‌ی آلی گردند.

در مناطق شهری، درختان کشت شده به‌منظور فضای سبز ممکن‌است با خاک‌های بسیار متراکم مواجه شوند درحالی‌که تغییر خاک سرتاسر منطقه ریشه درخت عملی نیست. عملیات چندی می‌تواند به ما کمک کند (بخش ۷-۷ را نیز مشاهده کنید) اول ایجاد چاله بسیار بزرگ غرس تا حد مقدور، تا منطقه‌ای از خاک سست را برای رشد سریع ریشه فراهم کند. دوم پخش یک لایه ضخیم خاک‌پوش به سایه‌انداز درخت (نه در نزدیک تنه) برای تسریع در رشد ریشه حداقل در نزدیکی سطح خاک سوم باید مسیرهایی برای توسعه ریشه‌ها با حفر مجموعه‌ای از خندق‌های باریک که از حفره‌ی کشت منشعب شده‌اند ایجاد کرده و از خاک سست و غنی دوباره آن‌را پر کنیم.



(الف)



(ب)

شکل ۱۸-٤ (الف) برداشت الوار به‌وسیله‌ی جوبکش‌های سنتی چرخ لاستیکی در یک جنگل منطقه‌ی سردسیر در البرتای شمالی در کانادا و (ب) نتیجه‌ی به‌هم‌خوردن در افق‌های خاک سطحی(کف جنگل). این عملیات سبب تراکم قابل‌توجه خاک می‌شود که می‌تواند در اعمال بوم‌سامان برای سالیان دراز خلل وارد کند عملیات برداشت الوار که می‌تواند از این خسارات جلوگیری کند شامل قطع انتخابی درختان[1]، استفاده ازخودروهای قابل‌انعطاف، حمل‌ونقل هوایی چوب‌ها و جلوگیری از برداشت درختان در شرایط مرطوب است.

اراضی کشاورزی

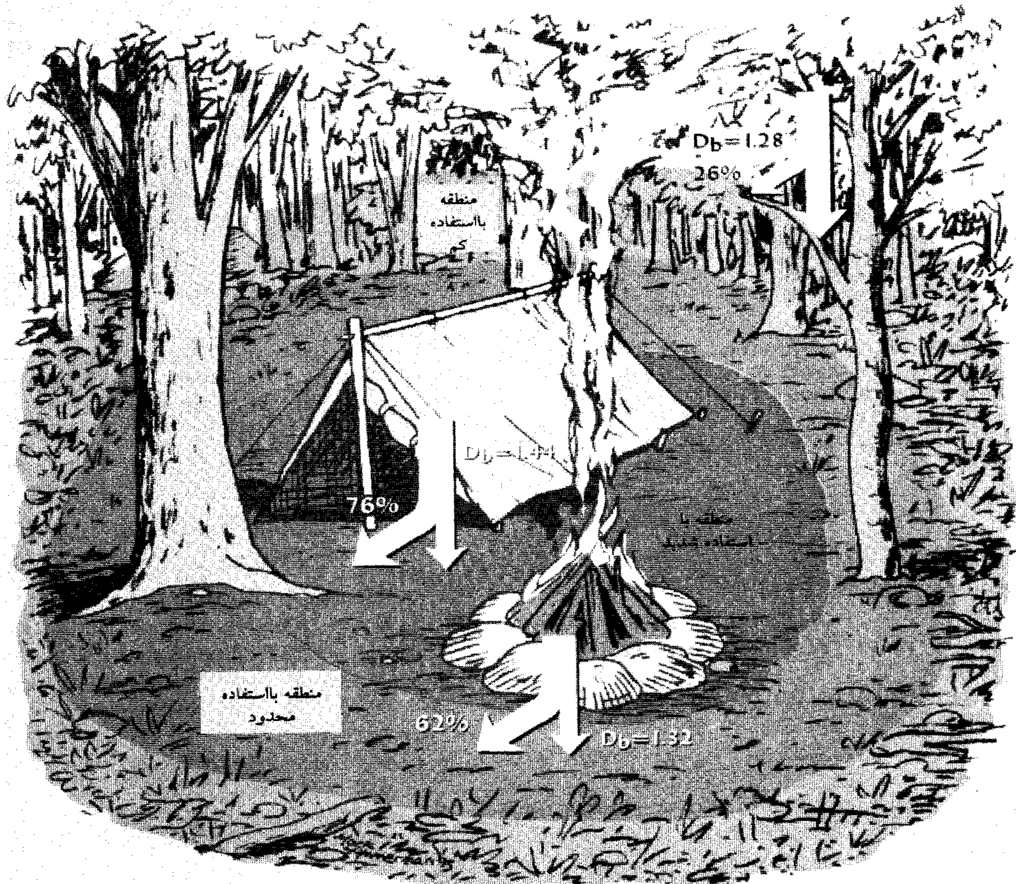
اگرچه خاک‌ورزی ممکن‌است به‌طور موقت سبب سست‌شدن خاک سطحی شود اما در طولانی مدت خاک‌ورزی سنگین سبب افزایش چگالی ظاهری خاک خواهد شد. زیرا سبب تخلیه ماده‌ی آلی و ضعف ساختمان خاک (بخش ۸-٤ را مشاهده کنید) می‌شود. اطلاعات موجود در جدول ٤-٤ حاکی از این شیوه‌ی کاهش است.داده‌ها حاصل مطالعات طولانی مدت در مناطق مختلف است که در آن‌ها خاک‌های نسبتاً دست‌نخورده با مناطق مجاور، که به‌مدت ۲۰ تا ۹۰ سال زیر کشت بوده‌اند، مقایسه گردیده است. در تمام موارد کشت‌وکار سبب افزایش چگالی ظاهری خاک سطحی گردید. اثر کشت‌وکار را می‌توان با اضافه‌کردن پس‌مانده‌های گیاهی ویا کود دامی‌در مقادیر زیاد، و تناوب گیاهان زراعی، گیاهان چمنی به حداقل رساند.

در کشاورزی نوین ماشین‌آلات سنگین که برای کشیدن ادوات و یا مصرف مواد اصلاحی و یا برداشت محصولات زراعی به‌کار می‌روند می‌توانند تراکم‌های محدودکننده‌ی رشد را در خاک به‌وجود آورند. بعضی از ادوات مانند گاوآهن برگردان‌دار، و دیسک‌های خاکبردان[2]، خاک را در زیر عمق کار خود ضمن بالا آوردن و سست‌کردن خاک فوقانی متراکم می‌کنند. استفاده از این ادوات و یا تردد مرتب در مزرعه‌ها با ماشین‌آلات سنگین می‌تواند سخت لایه‌های شخم[3] و یا سخت لایه‌های متراکم حمل‌ونقل را بلافاصله در زیر لایه شخم به‌وجود آورد (شکل ۲۰-٤) سایر ادوات خاک‌ورزی مانند شخم اسکنه[4] و دندانه‌های فنری[5] بر روی خاک زیر خود فشار نمی‌آورند و بنابراین برای

---

[1] - Selecting cutting
[2] - Disk harrow
[3] - Plow Pan
[4] - Chisel plow
[5] - Spring tooth harrow

شکستن سخت لایه شخم و به‌هم‌زدن خاک بدون کوچک‌ترین تراکم مفید می‌باشند. گاوآهن‌های بزرگ چیزل مانند می‌توانند برای شکستن لایه‌های متراکم تحت‌الارضی و یا زیر کنی[1] (شکل ۲۱-٤) به‌کار روند. هرچند در بسیاری از خاک‌ها اثر خردکردن خاک تحت‌الارضی کاملاً موقتی است (شکل ۲۲-٤). هر نوع عملیات خاک‌ورزی تمایل‌دارد که سبب کاهش مقاومت خاک گردیده و بنابراین خاک را در مقابل تراکم بعدی حساس‌تر می‌سازد.



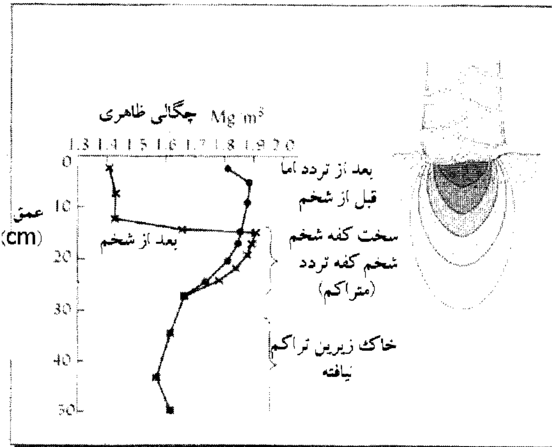
شکل ۱۹-٤ اثر محل‌های نصب چادر در چگالی ظاهری خاک‌های جنگلی و اثرات بعدی بر میزان نفوذ آب باران در خاک و هدررفت رواناب (پیکان‌های سفید را مشاهده کنید). در اکثر محل‌های نصب چادر مناطق با حداکثر تراکم به فاصله‌ی ۱۰ متر از حلقه ایجاد آتش و یا پای چادر فاصله دارند. مدیران اراضی تفرجگاهی باید به‌دقت چگونگی حفاظت خاک‌های حساس را در مقابل تراکم، که ممکن‌است سبب ازبین‌رفتن پوشش گیاهی و افزایش فرسایش گردد، مورد ملاحظه قرار دهند.

حمل‌ونقل به‌خصوص در روی خاک مرطوب خسارت‌بار است. معمولاً با بار سنگین‌تر و در خاک‌های مرطوب‌تر اثرات تراکم بسیار چشم‌گیر بوده و به‌مقدار عمیق‌تری در خاکرخ خاک انتشار می‌یابد. برای جلوگیری از تراکم که می‌تواند سبب کاهش عملکرد و سوددهی گردد، تعداد عملیات خاک‌ورزی و تردد ماشین‌آلات سنگین در مزرعه باید به‌حداقل‌رسیده و درمواقعی که خاک مرطوب است باید از انجام آن خودداری گردد متأسفانه رفت‌وآمد برروی خاک‌های مرطوب کشاورزی در مناطق پرباران معتدل در پاییز و بهار غیرقابل‌اجتناب است.

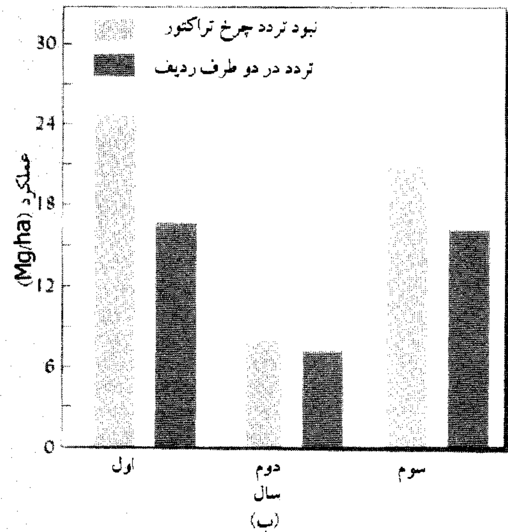
راه‌کار دیگر برای به‌حداقل‌رساندن تراکم، اختصاص‌دادن دقیق تمام رفت‌وآمدهای ماشین‌آلات چرخ‌دار در مسیرهای به‌ویژه و باقی گذاشتن بقیه‌ی سطح مزرعه (حدود ۹۰٪ و یا بیشتر) فارغ از تراکم می‌باشد. این نظام‌های مدیریت رفت‌وآمد[2]، به‌طور گسترده‌ای در اروپا به‌خصوص در خاک‌های رسی به‌کار می‌رود. مدیریت رفت‌وآمد را می‌توان در باغچه‌های خانگی با ایجاد مسیرهای پیاده‌رو در بین بسترهای کشت انجام داد. این مسیرها را می‌توان با پوشش سنگین خاک‌پوش، کشت با چمن‌های متراکم و یا پوشش سنگ‌های مسطح ایجاد نمود.

---

1 - Subsoiling
2 - Controlled traffic



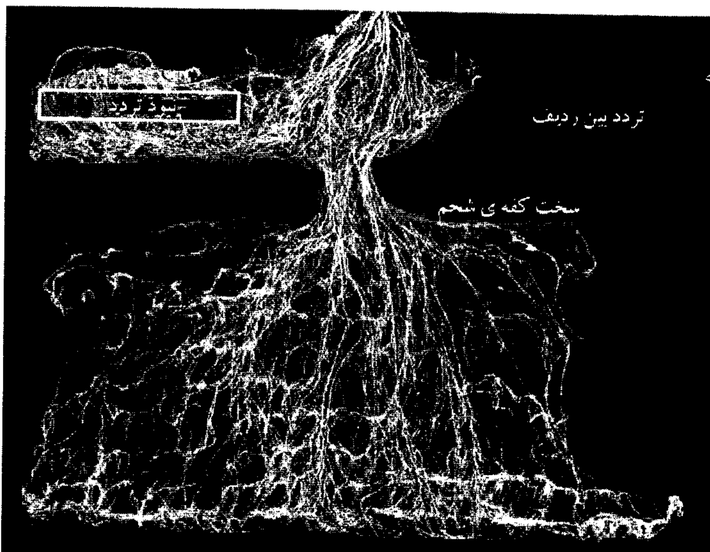
(الف)



(ب)

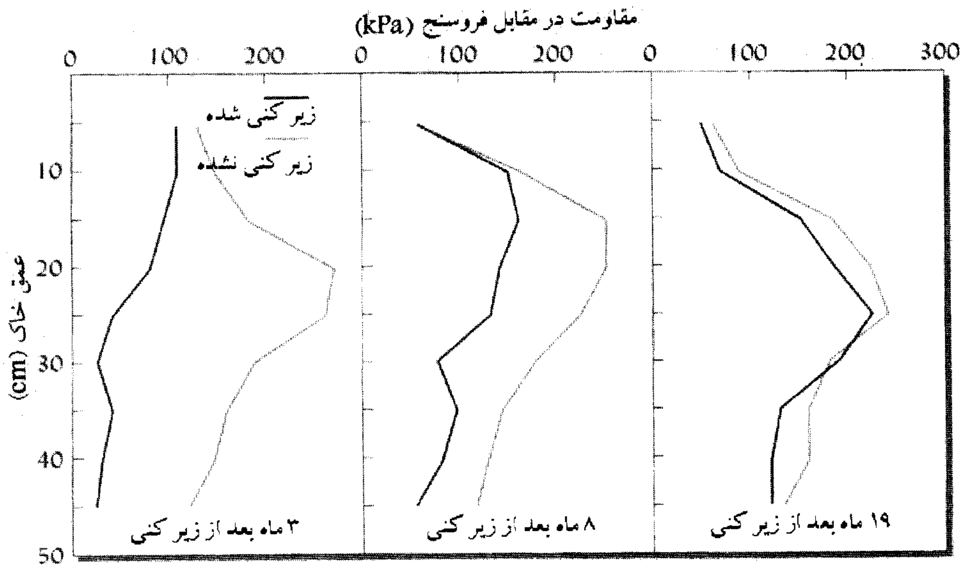
شکل ۲۰-٤ تراکتورها و سایر ادوات سنگین سبب تراکم خاک تا عمق قابل‌ملاحظه‌ای شده و سبب افزایش چگالی ظاهری و کاهش رشد و عملکرد نبات می‌شوند. وقتی خاک مرطوب است تردد بر روی آن به‌خصوص خسارت بار خواهد بود. (الف) چرخ یک تراکتور سنگین یک خاک لوم شنی را تا عمق ۳۰ سانتی‌متر متراکم می‌کند و سبب ایجاد یک سخت لایه‌ی ترددی[1] می‌شود. شخم‌زدن به‌طور موقت سبب سست‌شدن خاک سطحی متراکم شده (لایه شخم) می‌گردد اما سبب تراکم خاک درست در زیر لایه شخم، و ایجاد یک لایه مرکب (شخم و تردد) می‌شود. وزن مخصوص ظاهری بیشتر از ۱/۸ مگاگرم در مترمکعب از انتشار ریشه پنبه در این موارد جلوگیری می‌کند.(ب) عملکرد سیب‌زمینی با نسبت ۲ سال از ۳ سال در خاک لوم رسی در ایالت مینوسوتای آمریکا کاهش یافت. کاهش عملکرد در سال‌های نسبتاً خشک که گیاهان نیاز بیشتری به رطوبت خاک زیرین دارند چشم‌گیرتر است.

بعضی از مدیران خاک تلاش می‌کنند که با راهبرد مخالف، از تایرهای عُریض خاص در ادوات سنگین برای توزیع وزن بر روی سطح بیشتری از خاک استفاده کنند و میزان فشار را در واحد سطح کاهش دهند (شکل ۲۳-٤ الف). تایرهای عریض‌تر گرچه اثرات تراکم را کاهش می‌دهند اما درصد سطح خاک را که در آن تراکم صورت می‌گیرد افزایش می‌دهند. در روش مشابه با استفاده از تایرهای عریض، باغداران خانگی می‌توانند از تراکم وزن خود (درست بر روی چند سانتی‌متر سطح کفش خود) با ایستادن بر روی تخته چوب‌ها در هنگام تهیه بستر کشت در خاک‌های مرطوب، اجتناب کنند (شکل ۲۳-٤ ب).



شکل ۲۱-٤ توزیع ریشه نبات پنبه. در سمت راست رفت‌وآمد تراکتورها و شخم‌زدن در بین ردیف‌های کشت سبب ایجاد سخت لایه شخم شده است که از رشد ریشه جلوگیری می‌کند. در سمت چپ که رفت‌وآمد تراکتور دیده نمی‌شود ریشه‌ها بسیار گسترش یافته‌اند. مشاهده می‌شود که ریشه‌ها از طریق یک منطقه سست که به‌وسیله‌ی ادوات چیزل مانند ایجاد شده‌اند به‌داخل تحت‌الارض وارد شده‌اند.

[1] - Traffic pan



شکل ۲۲-٤ خاک‌ورزی عمیق به‌وسیله‌ی گاوآهن اسکنه‌ای بزرگ که بعضی مواقع به آن زیرکن[1] گفته می‌شود، سبب شکسته‌شدن سخت لایه شخم در تحت‌الارض و کاهش مقاومت و چگالی می‌شود که با اندازه‌گیری مقاومت خاک در مقابل نفوذسنج[2] مشخص می‌شود. وقتی خاک رسی تحت‌الارض به اندازه کافی خشک باشد و کشیدن اسکنه بتواند جرم خاک را متلاشی کند. زیرکنی می‌تواند بسیار مؤثر به‌انجام رسد گرچه اثرات آن معمولاً کوتاه مدت می‌باشد. در خاک‌های التی‌سول دشت ساحلی فلوریدا که در این شکل معرفی شده است. عملیات زیرکن سبب کاهش فوق‌العاده مقاومت خاک به انتشار ریشه در چند ماه گردید. هرچند تفاوت بین خاکی که زیر کنی شده با خاکی که زیر کنی نشده بعد از ۸ ماه کمتر قابل تشخیص بود. این اثرات عمدتاً بعد از ۱۹ ماه قابل‌تشخیص نبود. همین‌طور در این آزمایش، زیرکنی سبب تولید عملکرد بیشتر ذرت در سال اول گردید اما بعد از انجام شخم عمیق میزان عملکرد در سال دوم افزایش نیافت.





(الف) (ب)

شکل ۲۳-٤ روشی برای کاهش تراکم، توزیع بار اعمال‌شده به‌سطح بزرگ‌تر است. چرخ‌های فوق‌العاده عریض در خودروهای سنگین که برای توزیع مواد اصلاح‌کننده به‌کار می‌روند(سمت چپ) و ایستادن بر روی یک تخته چوب در هنگام آماده‌کردن بستر کشت در اول بهار نمونه‌هایی از این روش می‌باشند.

1 - Subsoiler
2 -Penetrometer

تأثیر چگالی ظاهری بر مقاومت خاک در رشد ریشه

چگالی ظاهری بالا ممکن‌است در یک چهره خاکرخ طبیعی وجود داشته (برای نمونه سخت لایه‌های شکننده) و یا دلالت بر تراکم ناشی از دخالت بشر باشد. درهرحال، رشد ریشه در خاک‌های بسیار متراکم به‌دلایل چندی از جمله مقاومت خاک در برابر انتشار ریشه، تهویه‌ی ناقص، حرکت کند آب و عناصر غذایی و تجمع گازهای سمی و ترشحات ریشه دچار محدودیت می‌شود.

ریشه‌ها در داخل خاک با فشاردادن مسیر خود در منافذ خاک انتشار می‌یابند. اگر منافذ برای تطابق با کلاهک ریشه بسیار کوچک باشد کلاهک ذره خاک را فشار داده و کنار زده و منافذ را عریض می‌کند. تراکم در محل ریشه تا حدی سبب محدودیت رشد ریشه می‌شود، چون ریشه‌ها با منافذ کمتر و کوچک‌تری مواجه خواهند شد، هرچند، انتشار ریشه در اثر مقاومت خاک (خصوصیتی که سبب مقاومت خاک در مقابل تغییر است) دچار محدودیت می‌شود. روشی برای تعیین میزان مقاومت خاک اندازه‌گیری نیروی لازم برای راندن یک میله با نوک مخروطی (پنترومتر) به‌داخل خاک است (فصل ۹-٤ را نیز مشاهده کنید). تراکم سبب افزایش چگالی ظاهری و مقاومت خاک می‌شود. حداقل دو عامل (هر دو در ارتباط با مقاومت خاک می‌باشند) برای تعیین تأثیر چگالی ظاهری در توانایی ریشه‌ها به انتشار در داخل خاک باید مورد ملاحظه قرار گیرند که عبارتند از میزان رطوبت و بافت خاک.

تأثیر میزان آب خاک : میزان آب خاک و چگالی ظاهری هر دو در مقاومت خاک موثر می‌باشند (شکل ۹-٤). مقاومت خاک در اثر تراکم خاک و افزایش چگالی ظاهری آن افزایش می‌یابد و همچنین وقتی خاک خشک و سخت می‌شود مقاومت خاک فزونی می‌یابد. بنابراین اثرات چگالی ظاهری بر روی رشد ریشه در خاک‌های نسبتاً خشک بسیار چشمگیر است، وقتی خاک مرطوب‌تر است برای جلوگیری از انتشار ریشه میزان چگالی ظاهری بیشتری لازم می‌باشد. برای نمونه یک سخت لایه‌ی ترددی که دارای چگالی ظاهری ۱/٦ مگاگرم در مترمکعب است ممکن است از انتشار کامل ریشه‌ها وقتی خاک خشک است ممانعت کند، گرچه هنگامی‌که خاک مرطوب است، ریشه‌ها می‌توانند در همین لایه به آسانی انتشار یابند.

اثر بافت خاک : هر چه مقدار رس در خاکی بیشتر و یا میانگین قطر ذرات کوچک‌تر باشد، مقاومت به انتشار ریشه‌ها در وزن مخصوص ظاهری خاص بیشتر خواهد بود. بنابراین، اگر چگالی ظاهری یکسان باشد ریشه‌ها در یک خاک شنی مرطوب بسیار آسان‌تر از یک خاک مرطوب رسی انتشار خواهند یافت. انتشار ریشه‌ها معمولاً در داخل خاک مرطوب عمدتاً در دامنه‌ی ۱/٤٥ مگاگرم در مترمکعب در خاک‌های رسی و ۱/۸٥ مگاگرم در مترمکعب در خاک‌های شنی دچار محدودیت می‌شود(شکل ۱٥-٤). در این رابطه رشد ریشه‌ها احتمالاً در هر دو خاک تشریح شده در جدول ۳-٤ براثر چگالی ظاهری مسیرهای حرکت الوارکش‌ها دچار محدودیت گردیده است.

جدول ۳-٤ اثرات برداشت الوار بر چگالی ظاهری در اعماق مختلف ۲ خاک جنگلی اولتی‌سول در ایالت جورجیا. الوارکش‌های لاستیکی برای برداشت الوار مورد استفاده قرار گرفتند. به چگالی بالایی لوم شنی در مقایسه با لوم رسی و اثرات بیشتر نحوه‌ی برداشت الوار بر روی مسیر تنه‌کش‌ها توجه کنید.

عمق خاک سانتی‌متر	چگالی ظاهری Mgm^{-3}		
	قبل از برداشت	بعدازبرداشت درخارج مسیر چوبکش	بعد از برداشت در مسیر چوبکش
شن لومی – دشت ساحلی بالا			
۰-۸	۱/۲٥	۱/٥	۱/٤۷
۸-۱٥	۱/٤	۱/٥٥	۱/۷۱
۱٥-۲۳	۱/٥٤	۱/٦۱	۱/۸۱
۲۳-۳۰	۱/٥۸	۱/٦۲	۱/۷۷
لوم رسی ـ دشت دامنه‌ای			
۰-۸	۱/۱٦	۱/۳٦	۱/٥۲
۸-۱٥	۱/۳۹	۱/٤۹	۱/٦۷
۱۰-۲۳	۱/٥۱	۱/٥۱	۱/٦٦
۲۳-۳۰	۱/٤۹	۱/٤٦	۱/٦۱

۶-۴ منافذ خاک در خاک‌های معدنی

یکی از دلایل اصلی اندازه‌گیری وزن مخصوص ظاهری استفاده از آن برای محاسبه‌ی میزان منافذ خاک است. در خاک‌ها با چگالی ذرات (واقعی) یکسان هر چه چگالی ظاهری کمتر باشد درصد منافذ خاک (تخلخل کل) بیشتر خواهد بود. تابلو ٤-٤ را برای به‌دست‌آوردن معادله‌ای که این رابطه را تشریح می‌کند مطالعه کنید.

عوامل مؤثر در حجم کل منافذ خاک

در فصل یک (۱۵-۱) توجه دادیم که در خاک سطحی آرمانی بافت متوسط با ساختمان دانه‌ای در شرایط مناسب برای رشد گیاه، حدوداً ٥٠ درصد حجم خاک از منافذ تشکیل گردیده و حدود نصف حجم منافذ به‌وسیله‌ی هوا (عمدتاً در منافذ درشت) و نصف دیگر به‌وسیله‌ی آب (عمدتاً در منافذ ریز) اشغال شده است. در واقع تخلخل کل در میان خاک‌ها به همان دلیل که چگالی تغییر می‌کند متفاوت بوده و از ۲٥ درصد در خاک‌های تحت‌الارضی متراکم تا ٦٠ درصد در خاک‌های سطحی با ساختمان دانه‌ای خوب دارای ماده‌ی آلی زیاد متغیر می‌باشد.

همان‌طورکه برای چگالی ظاهری گفته شد، مدیریت کشاورزی می‌تواند تأثیرمشخصی بر حجم منافذ خاک اعمال کند(جدول٤-٤). اطلاعات حاصل از خاک‌ها در دامنه‌ای گسترده نشان می‌دهد که کشت وکار سبب کاهش فضای کل منافذ درمقایسه با خاک‌های کشت نشده می‌باشد. این کاهش معمولاً با تقلیل ماده‌ی آلی و در پی‌آمد آن، با کاهش خاکدانه‌ای‌شدن همراه است.

اندازه‌ی منافذ خاک

ارقام چگالی ظاهری فقط در تعیین تخلخل کل کمک می‌کند. منافذ خاک دارای انواع بسیار متفاوتی از نظر اندازه و شکل می‌باشند. اندازه منافذ تا حد زیادی نقش منافذ را در خاک مشخص می‌کند. منافذ از نظر اندازه می‌توانند به منافذ درشت[1]، منافذ متوسط[2] و منافذ ریز[3] تقسیم گردند (جدول ٥-٤ یکی از این گروه‌بندی‌ها را نشان می‌دهد). بحث خود را در این مورد خلاصه کرده و در تشریح منافذ درشت (درشت‌تر از ۰/۰۸میلی‌متر) و منافذ ریز (کوچک‌تر از ۰/۰۸ میلی‌متر) می‌پردازیم.

منافذ درشت : منافذ درشت امکان حرکت آزاد هوا و آب زه‌کشی را فراهم می‌کنند. آن‌ها دارای اندازه کافی برای تطابق با ریشه‌ها و جانداران کوچکی که در داخل خاک زندگی می‌کنند می‌باشند (فصل ۱۱ را مشاهده کنید). در شکل ٢٤-٤ چند نوع منافذ درشت تشریح شده است.

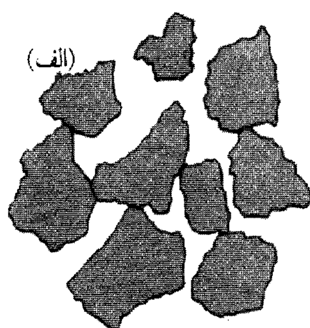
جدول ٤-٤ چگالی ظاهری و حجم منافذ خاک درخاک‌های سطحی کشت‌وکار شده به‌خصوص و در اراضی کاشت نشده‌ی مجاور آن (یک خاک زیر سطحی نیز آمده است).

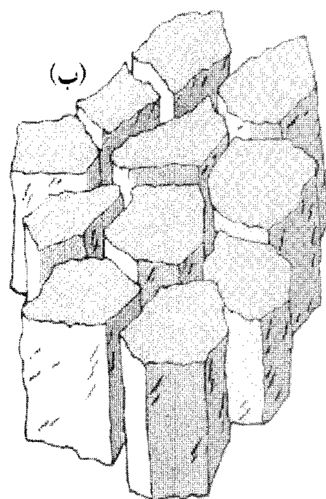
خاک	بافت	سال‌های زیر کشت	چگالی ظاهری $Mg\ m^{-3}$		درصد حجم منافذ	
			کشت شده	کشت نشده	کشت شده	کشت نشده
یدالف (پنسیلوانیا)	لوم	٥٨	۱/۲٥	۱/۰۷	٥۰	٥۷/۲
یدول (ایوا)	لوم سیلتی	+٥۰	۱/۱۳	۰/۹۳	٥٦/۲	٦۲/۷
اکوالف (اوهایو)	لوم سیلتی	٤۰	۱/۳۱	۱/۰٥	٥۰/٥	٦۰/۳
یوستل (کانادا)	لوم سیلتی	۹۰	۱/۳۰	۱/۰٤	٥۰/۹	٦۰/۸
کمبید (کانادا)	رسی	۷۰	۱/۲۸	۰/۹۸	٥۱/۷	٦۳
کمبید (کانادا) (تحت‌الارض)	رسی	۷۰	۱/۳۸	۱/۲۱	٤۷/۹	٥٤/۳
معدل ۳ خاک استالف (زیمبابوه)	رسی	۲۰-٥۰	۱/٤٤	۱/۲۰	٥٤/۱	٦۲/٦
معدل ۳ خاک یوستالف(زیمبابوه)	لوم شنی	۲۰-٥۰	۱/٥٤	۱/٤۳	٤۲/۹	٤۷/۲

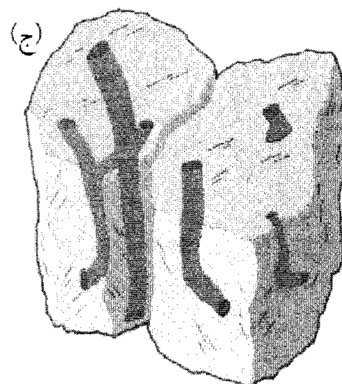
[1] - Macropores
[2] - Mesopores
[3] - Micropores

جدول ٥-٤ طبقه‌بندی منافذ خاک بر حسب اندازه و بعضی از اعمال هر دسته از اندازه‌ها. اندازه‌ی منافذ مداوم بوده و مرز بین کلاس‌ها که در جدول ارائه شده غیرواقعی و تا حدی فرضی است. واژه‌ی ریز منافذ، به تمام اندازه‌هایی که از درشت منافذ کوچک‌ترند تعمیم داده می‌شود.

کلاس ساده شده	کلاس	دامنه قطر مؤثر m. m	خصوصیات و اعمال
درشت منافذ	درشت منافذ	+ ٥–٠/٠٨	معمولاً در بین خاکدانه‌ها یافت می‌شوند. آب در اثر ثقل زه‌کشی شده و به‌طور مؤثر سبب انتقال هوا می‌شود. بزرگی آن‌ها، برای تطابق با ریشه‌ی گیاهان و زیستگاه جانوران خاص خاک به‌اندازه‌ی بسنده است.
ریز منافذ ↓	اندازه‌ی متوسط	٠/٠٨–٠/٠٣	سبب نگهداری آب بعد از زه‌کشی می‌شود، سبب انتقال آب در اثر عمل مویینه‌گی می‌شود با ریشه گیاهان و قارچ‌ها تطابق دارد
	ریز منافذ	٠/٠٣–٠/٠٠٥	معمولاً در داخل خاکدانه‌ها وجوددارد. اب نگهداری شده در آن برای گیاهان قابل استفاده است. برای اکثر باکتری‌ها تطابق دارد
	فوق‌العاده ریز[1]	٠/٠٠٥–٠/٠٠٠١	معمولاً در رس‌ها یافت می‌شود. آب نگهداری شده به‌وسیله‌ی گیاهان قابل استفاده نیست فاقد اکثر ریزجانداران می‌باشد
	پنهان[2]	٠/٠٠٠١ >	فاقد ریزجانداران است و برای ورود مولکول‌های درشت بسیار کوچک است.







شکل ٢٤-٤ انواع منافذ خاک. (الف) بسیاری از منافذ به‌صورت منافذ چیده شده ذرات[3] که عبارتند از فضای باقیمانده‌ی بین ذرات اولیه‌ی خاک وجوددارند. اندازه و شکل این منافذ در ارتباط با شکل و اندازه‌ی ذرات اولیه رس، لای، شن و ترتیب چیده‌شدن آن‌ها می‌باشد. (ب) در خاک‌ها دارای واحدهای ساختمانی فضای بین واحدهای ساختمانی، منافذ بین ساختمانی را ایجاد می‌کنند. این منافذ از نظر شکل اکثراً مسطح بوده مانند ترک بین واحدهای ساختمانی منشوری، و یا ممکن‌است بسیار غیرمنظم باشند مانند منافذی که بین واحدهای ساختمانی خاکدانه‌ای سست قرار دارند. (ج) منافذ زیستی به‌وسیله‌ی جانداران مثل کرم‌های خاکی، حشرات و ریشه‌ی گیاهان ایجاد می‌شوند. اکثر این منافذ طولانی و بعضی مواقع دارای انشعاباتی می‌باشند، اما بعضی به‌صورت حفره‌های گردی می‌باشند که حاصل لانه‌ی خالی شده‌ی حشرات و غیره می‌باشند.

---

[1] - Ultramicropores
[2] - Cryptomicropores
[3] - Packing pores

منافذ درشت می‌توانند به‌صورت فضای بین ذرات جداگانه شن در خاک‌های بافت درشت یافت شوند. بنابراین گرچه خاک شنی دارای تخلخل کمتری است حرکت آب‌وهوا در داخل آن به‌طور تعجب‌آوری به‌دلیل غالبیت منافذ درشت سریع می‌باشد.

درخاک‌های دارای ساختمان خوب، منافذ درشت معمولاً در بین واحدهای ساختمانی یافت می‌شوند. این منافذ بین واحدهای ساختمانی[1] ممکن‌است به‌صورت فضای بین توده‌ی خاکدانه‌های سست ویا سطوح ترک در بین واحدهای ساختمانی مکعبی و منشوری نزدیک به هم یافت شوند.

منافذ درشت ایجاد شده به‌وسیله‌ی ریشه‌ها، کرم‌های خاکی و سایر جانداران یکی از مهمترین منافذ را که منافذ زیستی[2] نامیده می‌شوند تشکیل می‌دهد. این منافذ معمولاً دارای شکل لوله‌ای بوده و ممکن‌است به طول یک متر و بیشتر پیوستگی داشته باشند. در بعضی از خاک‌های رسی، منافذ زیستی شکل اصلی منافذ درشت بوده و سبب سهولت رشد ریشه‌ها می‌شود (جدول ٦-٤). گیاهان چند ساله مانند درختان جنگلی و گیاهان چمنی در ایجاد راه‌هایی که به‌عنوان مسیر حرکت ریشه گیاهان دیگر، سال‌ها پس از مرگ وپوسیده‌شدن ریشه‌ی خود عمل می‌کنند، به‌خصوص مؤثر می‌باشند. دو نوع از این ریشه‌راه‌ها هر یک با قطر ۸ میلی‌متر، در شکل ۱۹-۳ صفحات براق خاک‌های رسی و رتی‌سول را مشبک کرده‌اند.

واضح‌است که هم ساختمان و هم بافت خاک در تعادل بین منافذ درشت و منافذ ریز مؤثر می‌باشند. شکل ۲۵-٤ نشان می‌دهد که کاهش ماده‌ی آلی و افزایش میزان رس همراه با افزایش عمق که در بسیاری از خاکرخ‌ها مشاهده می‌شود سبب تبدیل منافذ درشت به منافذ ریز می‌گردد.

منافذ ریز : برخلاف منافذ درشت منافذ ریز در خاک‌های مزرعه معمولاً مملو از آب می‌باشند حتی اگر از آب هم پر نباشند آن‌ها برای تهویه مناسب بسیار ریزند. حرکت آب در منافذ ریز آهسته است و اکثر آب نگهداری شده در این منافذ برای گیاهان قابل استفاده نیست (فصل ۵ را مشاهده کنید). خاک‌های بافت ریز، به‌خصوص آن‌هایی که فاقد ساختمان دانه‌ای می‌باشند به‌رغم تخلخل کل بالا، ممکن‌است دارای منافذ ریز بیشتری بوده و حرکت آب و گاز در آن‌ها نسبتاً کند باشد. ممکن‌است تهویه، به‌خصوص در خاک تحت‌الارضی برای توسعه‌ی ریشه‌ها و فعالیت مطلوب میکروبی کافی نباشد. درحالی‌که منافذ درشت با ریشه‌ی گیاهان و ریزجانوران تطابق دارند. منافذ ریز کوچک‌تر (بعضی مواقع به آن‌ها منافذ خیلی ریز[3] و منافذ پنهان[4] می‌گویند) برای ورود باکتری‌ها بسیار ریز می‌باشند بنابراین آن‌ها به‌عنوان منطقه حفظ‌کننده‌ی ماده‌ی آلی در طی هزاران سال عمل می‌کنند (فصل ۱۲).

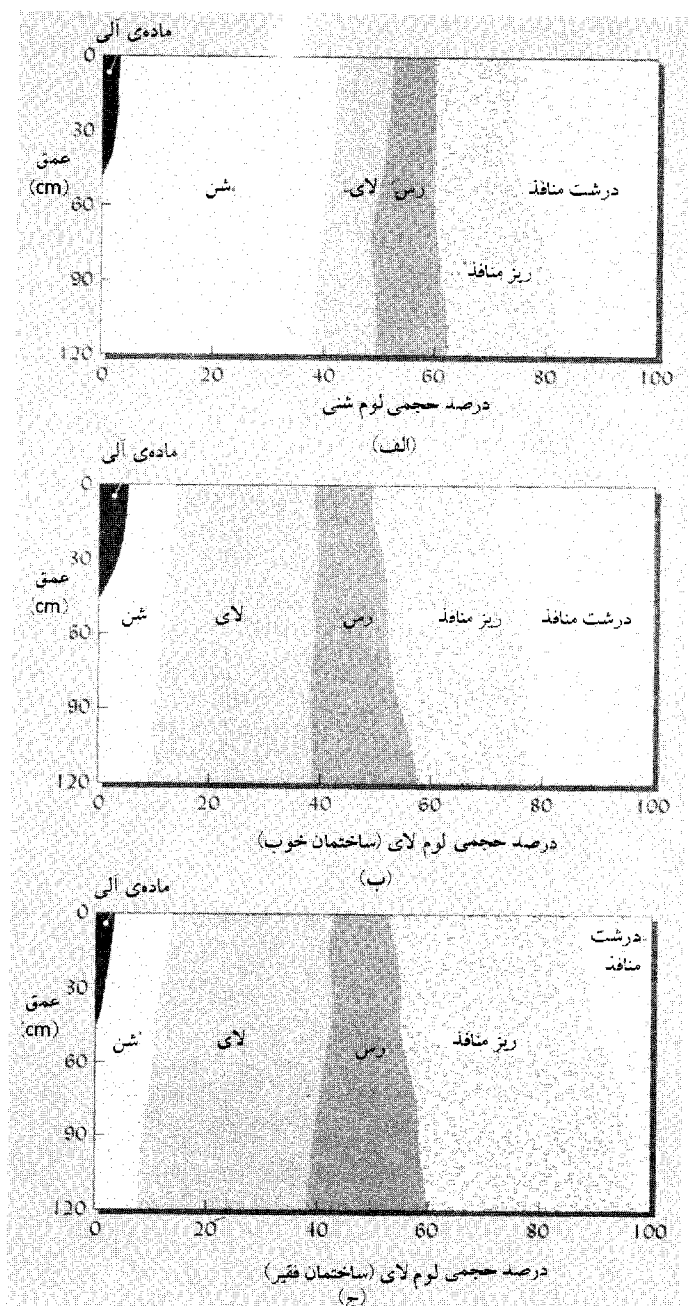
اندازه‌ی منافذ انفرادی در مقایسه با حجم کل آن‌ها عامل مهمی در تعیین میزان زه‌کشی، تهویه و سایر فرایندهای خاک می‌باشد. سست‌کردن و خاکدانه‌ای‌شدن خاک‌های دارای منافذ ریز سبب ارتقاء تهویه، نه چندان در اثر افزایش حجم کل منافذ، بلکه براثر افزایش نسبت منافذ درشت می‌گردد.

کشت‌وکار و اندازه‌ی منافذ: کشت‌وکار مداوم، به‌خصوص در خاک‌هایی که در ابتدا ماده‌ی آلی بالایی داشته‌اند اغلب سبب کاهش منافذ درشت خاک می‌شود. اطلاعات مربوط به خاک بافت ریز در تگزاس (جدول ۷-٤) این اثر را به روشنی تشریح می‌کند. کشت‌وکار با عملیات خاک‌ورزی انجام شخم سبب کاهش ماده‌ی آلی خاک و کل منافذ خاک به‌طور معنی‌دار گردید. اما مسأله بسیار قابل‌توجه اثر کشت‌وکار بر اندازه‌ی منافذ خاک است. مقدار منافذ درشت خاک که لازمه‌ی حرکت آسان هوا می‌باشد، به حدود نصف کاهش یافت. نمونه‌های گرفته شده از عمق یک متری نشان داد که کاهش در اندازه منافذ تا ژرفای زیادی در خاکرخ ادامه داشته است. (داده‌ها نشان داده نشده است).

در سال‌های اخیر، عملیات خاک‌ورزی حفاظتی، که شخم‌زدن و دیگر عملیات همراه آن‌را به حداقل می‌رساند، در آمریکا به‌طور گسترده‌ای مورد قبول قرار گرفته است (بخش‌های ۳-٤ و ۷-۱۷). به‌خاطر تجمع مواد آلی در نزدیکی سطح خاک و ایجاد شبکه‌ای از منافذ درشت بادوام (به‌خصوص منافذ زیستی)، بعضی از نظام‌های خاک‌ورزی حفاظتی سبب ایجاد تخلخل درشت در لایه‌های سطحی خاک می‌شوند. این مزایا مخصوصاً به‌نظر می‌رسد در خاک‌ها با حفره‌های زیاد کرم خاکی صورت پذیرد که در نبود عملیات خاک‌ورزی دست‌نخورده باقی می‌مانند. متأسفانه این بهبودها در تخلخل همیشه صورت نمی‌گیرد، در بعضی شرایط حجم منافذ خاک در عملیات خاک‌ورزی کمتر از خاک‌ورزی سنتی بوده‌است. مسأله‌ای که در خاک‌های دارای زه‌کشی داخلی ضعیف قابل‌توجه می‌باشد.

---

[1] - Interped pores
[2] - Biopores
[3] - Utramicropores
[4] - Cryptomicropores



شکل ۲۵-۴ توزیع مادهٔ آلی شن، لای، رس منافذ ریز و منافذ درشت بر حسب درصد حجمی در یک خاک لوم شنی شاهد (الف) و در دو خاک لوم سیلتی شاخص یکی با ساختمان خوب (ب) و دیگری با ساختمان نامناسب (ج). هر دو خاک لوم سیلتی دارای حجم کل و منافذ بیشتری در مقایسه با لوم شنی می‌باشند اما لوم سیلتی با ساختمان ضعیف دارای حجم کمتری از منافذ درشت در مقایسه با دو خاک قبل می‌باشند. توجه داشته باشید در پایین عمق در هر دو خاک لوم سیلتی حدود ۱/۳ مادهٔ معدنی رس بوده و در افق‌های پایین رس به اندازهٔ کافی برای طبقه‌بندی آن‌ها در بافت لوم سیلتی یافت می‌شود.

جدول ۶-۴ توزیع ریشه‌های کاج لابلالی در اندازه‌های مختلف در ماتریکس خاک و در ریشه‌راه‌های قدیمی در یک متر فوقانی خاکرخ در ردهٔ التی‌سول در کارولینای جنوبی.

ریشه‌راه‌ها معمولاً دارای قطر ۱ تا ۵ سانتی‌متر بوده و از خاک سست سطحی و مادهٔ آلی پوسیده پر شده‌بودند. انتشار ریشه‌ها آسان بوده و دارای حاصلخیزی و تهویهٔ بهتری از خاک اطراف‌بودند.

اندازهٔ قطر ریشه	تعداد ریشه‌های شمارش شده در یک متر مربع خاکرخ		
	ماتریکس خاک	ریشه‌راه‌های قدیمی	افزایش نسبی تراکم ریشه در ریشه‌راه‌های قدیمی درصد
ریشه‌های ریز کمتر از ٤ میلی‌متر	۲۱۱	٣٦١٧	٩٤
ریشه‌های متوسط ۲۰-٤ میلی‌متر	۲۰	٣٦١	٩٤
ریشه‌های درشت ۲۰< میلی‌متر	۳	۱۵۵	۹۸

تابلو ٤-٤ محاسبه درصد حجم منافذ خاک

چگالی ظاهری یک خاک می‌تواند به آسانی اندازه‌گیری شود و چگالی ذرات معمولاً می‌تواند ۲/٦٥ مگاگرم در مترمکعب برای خاک‌های معدنی عمدتاً سیلیکاتی فرض شود. از طرف دیگر اندازه‌گیری مستقیم حجم منافذ در خاک نیازمند فن‌آوری‌های بسیار پرزحمت و پرهزینه می‌باشد. بنابراین، وقتی اطلاعاتی از درصد منافذ خاک موردنیاز می‌باشد. مطلوب این است که حجم منافذ را از اطلاعات موجود درباره‌ی چگالی ظاهری و چگالی ذرات محاسبه کنم. طرز به‌دست‌آوردن رابطه‌ای که برای محاسبه حجم منافذ خاک به‌کار می‌رود به قرار زیر است : بافرضDb برای چگالی ظاهری وDp برای چگالی ذرات، Ws وزن ذرات جامد، Vs حجم ذرات جامد، Vp حجم منافذ و Vt=Vs+Vp حجم کل خاک، طبق تعریف داریم :

$$D_b = \frac{W_s}{V_s + V_p}, D_p = \frac{W_s}{V_s}$$

اگر Ws را در هر یک به‌دست‌آورده و نتیجه را مساوی هم قرار دهیم، داریم: Db(Vs+Vp)=Dp Vs و یا

$$\frac{Db}{Dp} = \frac{Vs}{Vs + Vp}$$

حال به‌جای Vs، Vt-Vp و به‌جای Vs+Vp معادل آن Vt را قرار میدهیم، داریم:

$$\frac{Db}{Dp} = \frac{Vt - Vp}{Vt}$$

که پس از ساده‌کردن داریم:

$$\frac{Db}{Dp} = 1 - \frac{Vp}{Vt}$$

پس از تنظیم مجدد روابط داریم:

$$\frac{Vp}{Vt} = 1 - \frac{Db}{Dp}$$

که در آن $\frac{Vp}{Vt}$ نسبت حجم منافذ به حجم کل می‌باشد. درصد حجم منافذ نسبت به حجم کل خاک با ضرب $\frac{Vp}{Vt}$ در عدد ۱۰۰ به‌دست می‌آید که عبارتست از:

$$\text{حجم منافذ } \% = 100 - (100 \times \frac{Db}{Dp})$$

مثال : با فرض خاک رسی کمبید کانادا در جدول ٤-٤ چگالی ظاهری $1/28\ Mg\ m^{-3}$ تعیین شده است و چون عددی در مورد چگالی حقیقی نداریم آنرا معادل $2/65 Mgm^{-3}$ برای کانی‌های سیلیکاتی معمولی در نظر میگیریم. برای محاسبه درصد حجم منافذ مطابق رابطه‌ی فوق داریم : درصد ٥١/٧ = (٢/٦٥ ÷ ١/٢٨)١٠٠-١٠٠= درصد حجم منافذ. این رقم به درصد حجم آب‌وهوا در خاک با خاکدانه‌سازی خوب وبافت متوسط تا ریز با شرایط خوب برای رشد گیاهان کاملاً نزدیک است. این محاسبات ساده چیزی در مورد مقدار نسبی فضاهای بزرگ و کوچک به‌دست نمی‌دهد؛ بنابراین باید با احتیاط تفسیر گردند.

برای خاک‌های مشخص، نادرست خواهد بود که چگالی حقیقی را مشابه کانی‌های سیلیکاتی ۲/٦٥ مگاگرم در مترمکعب فرض کنیم. برای نمونه ماده‌ی آلی دارای چگالی حقیقی بسیار کمتری از کوارتز بوده بنابراین در یک خاک با درصد مواد آلی بالا انتظار بر این است که چگالی ذرات کمتر از ۲/٦٥ مگاگرم در مترمکعب باشد. به‌همین نحو، خاکی که از کانی‌های اکسید آهن غنی باشد دارای چگالی حقیقی بیش از ۲/٦٥ خواهد بود. زیرا این کانی‌ها دارای Dp درحدود ۳/٥ می‌باشند. به‌عنوان مثالی از نوع دوم خاک، اجازه دهید فرض کنیم که خاک‌های رسی کشت‌وکار نشده در زیمبابوه (استالفز) که در جدول ٤-٤ تشریح گردید مورد نظر باشد. این رس‌های قرمز رنگ دارای مقادیر زیاد اکسید آهن می‌باشد. چگالی ذرات که برای این خاک‌ها ۳/۲۱ محاسبه شده است، در جدول ٤-٤ نشان داده نشده است. با استفاده از این عدد و عدد چگالی ظاهری از جدول ٤-٤، حجم منافذ چنین به‌دست می‌آید:

٦٢/٦ = (٣/٢١ ÷ ١/٢١) ١٠٠-١٠٠= درصد حجم منافذ

چنین درصد بالای حجم منافذ خاک بر این دلالت‌دارد که این خاک در شرایط متراکم نشده با خاکدانه‌سازی خوب می‌باشد که شاخص خاک‌هایی است که در زیر پوشش طبیعی دست نخورده یافت می‌شوند.

جدول ۷-٤ اثر حدود ۵۰ سال کشت‌وکار مداوم در فضای منافذ درشت و ریز در یک خاک سول بافت ریز (هاتسون بلاک کلی)[1] در تگزاس در مقایسه با مرغزار دست‌نخورده (خاک بکر) خاک شخم خورده دارای منافذ درشت بسیار کمتری بود اما با تخریب خاکدانه‌ها صاحب مقداری منافذ ریز گردید که در اثر تغییر منافذ درشت بین خاکدانه‌ای به منافذ ریز کوچک‌تر ایجاد شده بود هدررفت فضای منافذ درشت احتمالاً در اثر هدررفت ماده‌ی آلی بود که در جدول آشکار می‌باشد.

وضعیت خاک	عمق	درصد ماده‌ی آلی	درصد کل منافذ	درصد منافذ درشت	درصد منافذ ریز	وزن مخصوص ظاهری Mgm^{-3}
مرتع بکر	۱۵-۰	۵/٦	۵۸/۳	۳۲/۷	۲۵/٦	۱/۱۱
۵۰ سال کشت‌وکار	۱۵-۰	۲/۹	۵۰/۲	۱٦/۰	۳٤/۲	۱/۳۳
مرتع بکر	۳۰-۱۵	٤/۲	۵٦/۱	۲۷	۲۹/۱	۱/۱٦
۵۰ سال کشت‌وکار	۳۰-۱۵	۲/۸	۵۰/۷	۱٤/۷	۳٦/۰	۱/۳۱

۷-٤ تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها

تشکیل و نگهداری خاکدانه‌ها یکی از مشکل‌ترین کارهای مدیریت خاک می‌باشد و از آنجاکه عامل قوی بسیار مؤثری در اداره بوم‌سامان است از این نظر نیز مهم می‌باشد. تنظیم خاک‌های سطحی با خاکدانه‌های ساختمانی نسبتاً بزرگ سبب ایجاد چگالی کم و نسبت بالایی از منافذ درشت می‌شود که برای اکثر کاربری‌ها مطلوب، می‌باشد.

بعضی از خاکدانه‌ها به آسانی در مقابل ضربات قطرات باران و مالش و کشش شخم وامی‌روند. دیگر خاکدانه‌ها در مقابل جداشدن مقاومت می‌کنند بنابراین سبب حفظ ساختمان مناسب می‌شوند (اشکال ۳۰-٤ و ۳۱-٤). معمولاً هر چه خاکدانه‌ها کوچک‌تر باشند نسبت به خاکدانه‌های درشت‌تر پایدارتر بوده بنابراین نگهداری ساختمان‌های درشت به تلاش بیشتری نیازمند است.

ما راه‌های عملی مدیریت ساختمان خاک را پس از بررسی عوامل مؤثر در ایجاد خاکدانه‌ها و پایداری آن‌ها را پس از تشکیل مورد تشریح قرار می‌دهیم. از آنجاکه هر دو مجموعه عوامل همزمان عمل می‌کنند بعضی مواقع تشخیص اثرات نسبی آن‌ها در تکامل خاکدانه‌های پایدار در خاک مشکل می‌باشد.

نظام سلسله مراتب[2] در خاکدانه‌ها*

خاکدانه‌های بزرگ (بزرگ‌تر از ۱ میلی‌متر)، که برای اکثر کاربری‌های خاک بسیار مطلوبند از خاکدانه‌های کوچک‌تری تشکیل شده و آن‌ها نیز از واحدهای کوچک‌تری تا حد خوشه‌های رسی و هموس، که دارای قطر کمتر از ۰/۰۰۱ میلی‌متراند ایجاد شده‌اند. شما می‌توانید این نظام سلسله مراتب خاکدانه‌ای را با انتخاب چند خاکدانه درشت خاک و با فشردن آرام و یا جداکردن برای تفکیک آن‌ها به تعداد زیادی خاکدانه‌های کوچک‌تر و سپس مالیدن کوچک‌ترین خاکدانه‌ها بین انگشت شست و اشاره به نمایش بگذارید. شما درخواهید یافت که اکثر این ذره‌های کوچک نیز به خاکدانه‌های بسیار کوچک‌تر که از لای و رس و هموس تشکیل شده است، تبدیل می‌شوند. نظام سلسله مراتب خاکدانه‌ای (شکل ۲٦-٤) به‌نظر می‌رسد که به‌استثنای اکسی‌سول‌ها و بعضی از آنتی‌سول‌های جوان خاصه اکثر خاک‌ها باشد. در هر سطح از این سلسله مراتب خاکدانه‌ها عوامل مختلفی مسؤول به‌هم‌چسبیدن واحدهای فرعی می‌باشند.

عوامل مؤثر در تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها در خاک

هر دو فرایند زیستی و غیرزیستی (فیزیکی و شیمیایی) در تشکیل خاکدانه‌ها مؤثر می‌باشند. فرایندهای فیزیکی در انتهای ریز سلسله مراتب و فرایندهای زیستی در انتهای درشت سلسله مراتب مهمترین عوامل می‌باشند. همچنین فرایندهای فیزیکی- شیمیایی مؤثر در تشکیل خاکدانه‌ها عمدتاً در ارتباط با رس بوده و بنابراین در خاک‌های بافت ریز دارای اهمیت بیشتری می‌باشند. در خاک‌های شنی که دارای رس کمتری هستند، خاکدانه‌سازی به‌طور کلی وابسته به فرایندهای زیستی می‌باشد.

[1]- Hutson black clay
[2]- Hierarchical organization

* - نقش ماده آلی و فرایندهای زیستی در نظام سلسله مراتب خاکدانه‌های خاک ابتدا به‌وسیله‌ی تیدال واودز (۱۹۸۲) مطرح گردید.

فرایندهای فیزیکی ـ شیمیایی

مهمترین فرایندهای فیزیکی شیمیایی عبارتند از : ۱) جاذبه بین ذرات رس ۲) انقباض و انبساط رسها.

هماوری رس‌ها و نقش کاتیون‌های جذب‌شده : به‌استثنای خاک‌های خیلی شنی که تقریباً عاری از رس می‌باشند، خاکدانه‌سازی یا هماوری ذرات رس به‌صورت دسته‌های ذره‌بینی و یا فولکول‌ها آغاز می‌شود (شکل ۲۷-٤). هماوری می‌تواند به‌وسیله‌ی این واقعیت تشریح گردد که اکثر انواع ذرات رس دارای سطوح با بار منفی می‌باشند که به‌طور طبیعی دسته‌های کاتیون‌های دارای بار مثبت را از محلول خاک جذب می‌کنند (بخش ۱-۸ را مطالعه کنید). اگر دو صفحه‌ی کوچک رس به اندازه کافی به هم‌دیگر نزدیک شوند کاتیون‌های فشرده‌شده در بین آن‌ها بار منفی را در هر دو صفحه جذب و بنابراین همانند پلی دو صفحه را نگهداری می‌کنند. این فرایند تکرارشده تا این‌که مجموعه کوچکی از صفحات موازی رسی که حوزه رسی[1] نام دارد تشکیل می‌شود. انواع دیگر حوزه‌های رسی از نظر طرز قرارگرفتن بسیار تصادفی بوده و مشابه حجره‌ای از کارت‌ها می‌باشند. این اشکال، وقتی بارهای مثبت بر روی لبه‌ی صفحات کوچک، بارهای منفی موجود در سطوح را جذب می‌کنند تشکیل می‌گردند (شکل ۲۷-٤). فولکول‌ها، و یا حوزه‌های رسی همراه با کلوییدهای آلی باردار (هموس) با هم‌دیگر و ذرات لای (عمدتاً کوارتز) پل‌هایی تشکیل می‌دهند که ریزترین گروه‌ها را درنظام سلسله مراتب خاکدانه‌ای ایجاد می‌کنند (شکل ۲٦-٤ و). این حوزه رسی که به‌وسیله‌ی اثرات هماوری کاتیون‌های چندظرفیتی (Ca^{2+}، Fe^{2+} و Al^{3+}) و هموس حمایت می‌شوند سبب پایداری ریزخاکدانه‌ها[2] (قطر کمتر از ۰/۰۰۳ میلی‌متر) می‌گردند. عمل سیمانی‌کردن ترکیبات غیرآلی مانند اکسیدهای آهن سبب ایجاد خاکدانه‌های بسیار پایدار کوچک که شبه شن[3] نامیده می‌شوند در خاک‌های رسی خاص (اولتی‌سول و اکسی‌سول) در مناطق گرم و مرطوب می‌گردد.

وقتی کاتیون‌های Na^{+} (به‌جای کاتیون‌های چندظرفیتی) ین جذب شده غالب باشند، مانند بعضی از خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، نیروهای جاذبه قادر نخواهند بود که بر نیروی دافعه‌ی طبیعی دو ذره دارای بار منفی مجاور غلبه کنند و صفحات رس نمی‌توانند به‌اندازه کافی برای هماوری به هم‌دیگر نزدیک شوند. بنابراین، تا آنجاکه مقدور است به‌صورت پراکنده، از هم باقی می‌مانند. رس در این شرایط پراکنده، ژله‌مانند سبب می‌شود که خاک تقریباً بدون ساختمان، غیرقابل نفوذ به آب‌وهوا و از نظر رشد نبات بسیار نامطلوب باشد (بخش ۱۰-۱۰ را مطالعه کنید).

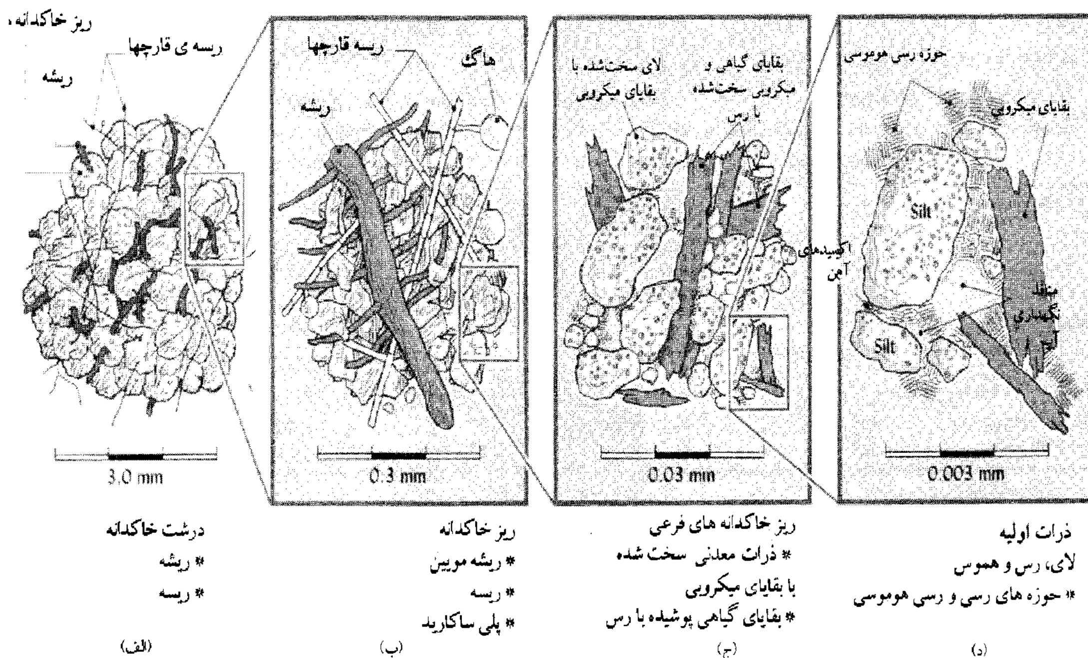
تغییرات حجم در مواد رسی : وقتی یک خاک خشک می‌شود و آب بیرون می‌رود صفحات کوچک در حوزه رسی به یکدیگر نزدیک‌تر گشته و سبب می‌شوند که حوزه رسی و توده‌ی خاک از نظر حجم انقباض یابند، وقتی توده‌ی خاک منقبض شود، ترک‌ها در امتداد صفحات سست ایجاد خواهند شد. در طول چرخه‌های فراوان (در فاصله بارندگی‌ها و یا آبیاری‌ها) ترک‌ها در طول همان صفحات سست بارها تشکیل می‌شوند. شبکه‌ی ترک‌ها بسیار گسترش یافته و خاکدانه‌ها بین ترک‌ها بهتر مشخص می‌شوند. ریشه‌ی گیاهان دارای اثر خشک کنندگی آشکاری در هنگام جذب آب در اطراف خود می‌باشند. جذب آب به‌ویژه به‌وسیله‌ی گیاهان چمنی با ریشه‌های افشان فرایند خاکدانه‌سازی فیزیکی را که در ارتباط با خشک و مرطوب‌شدن است، تشدید می‌کنند. این تأثیر یکی از راه‌های بسیار متعددی است که فرایندهای فیزیکی و زیستی در تعامل با هم‌دیگر قرار می‌گیرند.

چرخه‌های یخ‌زدن و ذوب یخ دارای اثرات مشابهی می‌باشند زیرا تشکیل بلورهای یخ یک فرایند خشک‌کردن است که آب را حتی از حوزه‌های رسی خارج می‌سازد. عمل انبساط و انقباض، که با یخ‌زدن و ذوب یخ، خشک و مرطوب‌شدن همراه است سبب ایجاد رخنه‌ها و تنش‌هایی می‌شود که نهایتاً سبب شکسته‌شدن و جدایی توده‌های بزرگ خاک شده، و یا سبب تراکم خاک در داخل واحدهای ساختمانی مشخص می‌گردد. اثرات خاکدانه‌سازی چرخه‌های آب و دما در خاک‌هایی که دارای مقادیر کافی رس متورم شونده می‌باشند (فصل ۸) به‌خصوص در خاک‌های ورتی‌سول، مولی‌سول و بعضی الفی‌سول‌ها بسیار چشمگیر است.

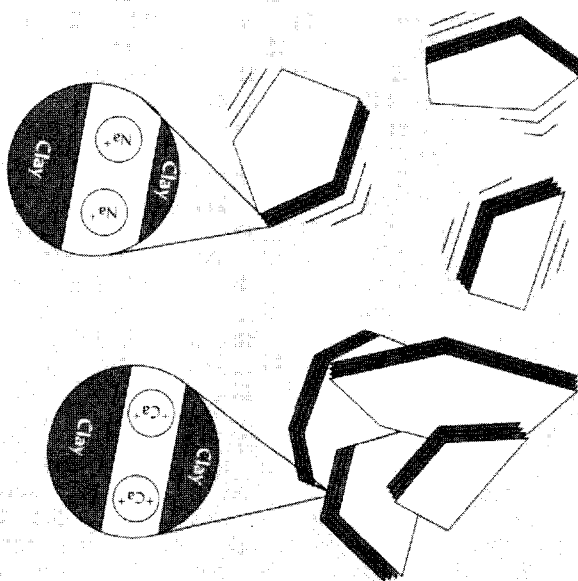
زارعین از دیر زمان دریافته‌اند که کلوخه‌های بزرگ سخت اگر در طول زمستان تحت شرایطی قرار گیرند که به‌طور متناوب در معرض یخ‌زدن و ذوب و یا مرطوب‌شدن و خشک‌شدن (در باران‌های آرام) قرار گیرند، به خاک نرم بستر بذر تبدیل خواهند شد. برای خاک‌های رسی، زمستان‌های سرد مناطق معتدل و فصول گرم طولانی مناطق خاص گرم‌تر، می‌توانند اثرات نامناسب تراکم و مدیریت نامناسب را بر طرف سازند (بخش ۸-٤ را مشاهده کنید).

---

1 - Clay domain
2 - Microaggregate
3 - Pseudosand



شکل ۲۶-٤ خاکدانه‌های درشت معمولاً از تجمع خاکدانه‌های کوچک‌ترکیب یافته‌اند. این شکل ٤ سطح از این سلسله مراتب را در خاکدانه‌ها نشان می‌دهد. عوامل مهم مختلف خاکدانه‌سازی در هر سطح مشخص شده است. (الف) یک درشت خاکدانه از بسیاری ریزخاکدانه تشکیل شده است که عمدتاً به‌وسیله‌ی شبکه‌ای ناشی از ریشه قارچ‌ها و وریشه‌های ریز به هم‌دیگر پیوند یافته‌اند (ب) یک ریزخاکدانه که عمدتاً از ذرات شن ریز و دسته‌های کوچک‌تری از ذرات لای، رس و بقایای ریز آلی تشکیل شده است به‌وسیله‌ی ریشه‌های مویی، ریسه قارچ و لعاب میکروبی به هم‌دیگر پیوند یافته‌اند. (ج) یک ریزخاکدانه بسیار کوچک که از ذرات ریز لای به‌وسیله‌ی بقایای آلی و قطعات کوچک گیاهان و میکروب‌ها (که ماده‌ی آلی ذره ای[1] نامیده می‌شود) و همچنین ذرات کوچک‌تر رس هموس و اکسیدهای آهن و آلومینیوم سخت شده است. (د) دسته‌هایی از صفحات کوچک موازی و تصادفی رس که در تعامل با اکسیدهای Fe و Al و پلی‌مرهای آلی در کوچک‌ترین اندازه می‌باشند. این دسته‌های رس آلی[2] و یا حوزه‌های رسی به سطح ذرات هموس و کوچک‌ترین ذرات کانی چسبیده‌اند.



شکل ۲۷-٤ نقش کاتیون‌ها در هماوری ذرات رس. کاتیون‌های دو ظرفیتی و سه ظرفیتی مانند کلسیم و آلومینیوم به‌شدت جذب شده و می‌توانند به‌طور مؤثری بار منفی سطح رس را خنثی کنند. این کاتیون‌ها همچنین می‌توانند پل‌هایی برای نزدیک‌کردن ذرات رس بین آن‌ها ایجاد کنند. کاتیون‌های یک ظرفیتی به‌خصوص Na^+ با شعاع آب‌گیری خیلی بزرگ، می‌توانند سبب گردند که ذرات رس یکدیگر را دفع کرده و پراکنده شوند. دو مسأله در پراکندگی مؤثر است. (۱) سدیم با شعاع آب‌گیری به‌اندازه کافی بزرگ برای خنثی‌شدن به رس نزدیک نمی‌شود و (۲) بار تکی بر روی سدیم در تشکیل یک پل بین ذرات رسی مؤثر نیست.

---

[1]- Particulaled organic matter
[2] - Organoclay

فرایندهای زیستی

فعالیت جانداران خاک : در میان فرایندهای زیستی خاکدانه‌سازی، چشم‌گیرترین آن‌ها عبارتند از: (۱) فعالیت‌های حفاری و چسباندن ذرات به‌وسیله‌ی کرم خاکی (۲) در برگرفتن ذرات به‌وسیله‌ی شبکه چسبنده‌ی ریشه نباتات و ریسه‌ی قارچ‌ها (۳) تولید چسب‌هایی آلی به‌وسیله‌ی ریزجانداران، به‌خصوص باکتری‌ها و قارچ‌ها در خاک‌های تحت کشت‌وکار و غیرآن. کرم‌های خاکی (و موریانه‌ها) ذرات خاک را به اطراف حرکت داده، اغلب آن‌ها را بلعیده و به‌صورت گلوله‌ها یا قالب‌هایی (فصل ۱۱) در می‌آورند در برخی خاک‌های جنگلی افق سطحی شامل خاکدانه‌های اولیه‌ی ایجاد شده به‌وسیله‌ی لعاب مترشحه‌ی کرم‌های خاکی (شکل ۱۱-٤ الف را مشاهده کنید) می‌باشد. گیاهان، با فشار دادن ریشه‌ی خود در داخل منافذ خاک، ذرات آن را جابه‌جا می‌کنند. این جابه‌جایی سبب ایجاد فشاری برای تماس نزدیک ذرات خاک با هم‌دیگر تقویت خاکدانه‌ای‌شدن می‌گردد. همزمان راه‌های ایجاد شده به‌وسیله‌ی ریشه گیاهان و حیوانات خاک‌زی به‌صورت منافذ درشت عمل می‌کنند که سبب شکسته‌شدن کلوخه‌های درشت و مشخص‌شدن واحدهای ساختمانی درشت‌تر می‌شود.

ریشه‌ی گیاهان (به‌خصوص ریشه‌های موبین) و ریسه‌ی قارچ‌ها پلی‌ساکاریدهای شکر مانند و سایر ترکیبات آلی ترشح می‌کنند که یک شبکه چسبنده را برای به‌هم‌پیوستن ذرات جداگانه‌ی خاک، و تبدیل ریزخاکدانه‌های ضعیف به خاکدانه‌های درشت‌تر فراهم می‌کنند (شکل ۲٦-٤ الف را مشاهده کنید). قارچ‌های نخی شکل، که همراه ریشه‌ی گیاهان می‌باشند (قارچ ریشه[1] نامیده می‌شوند بخش ۹-۱۱) در این نوع تثبیت کوتاه مدت خاکدانه‌های درشت مؤثر می‌باشند، زیرا آن‌ها یک پروتیین چسبناک که گلومالین[2] نامیده می‌شود ایجاد می‌کنند که یک عامل سیمانی بسیار مؤثر می‌باشد.

باکتری‌ها همچنین در تجزیه‌ی پس‌مانده‌های گیاهی، پلی‌ساکارید و سایر چسب‌های آلی تولید می‌کنند. پلی‌ساکارید باکتری‌هایی که با رس مخلوط شده است در مقیاس بسیار کوچک در شکل ۲۹-٤ نشان داده شده است. بسیاری از این چسب‌های آلی حاصل از ریشه‌ی نبات و فعالیت میکروب‌ها در مقابل انحلال در آب مقاوم بوده و نه‌تنها سبب ایجاد خاکدانه می‌شود بلکه پایداری آن‌ها را برای ماه‌ها و حتی چندین سال تضمین می‌کند. این فرایندها در خاک‌های سطحی که فعالیت حیوانات و تراکم ماده‌ی آلی در بیشترین مقدار است چشم‌گیر می‌باشند.

تأثیر ماده‌ی آلی : در اکثر خاک‌ها، ماده‌ی آلی مهمترین عامل مؤثر در تشکیل و پایداری خاکدانه‌های گرددانه و اسفنجی می‌باشد (شکل ۳۰-٤). اول این‌که، ماده‌ی آلی سبب ارایه مواد انرژی‌زا می‌شود که فعالیت‌های قارچ‌ها، باکتری‌ها و جانوران خاک را امکان‌پذیر می‌سازد. دوم، وقتی بقایای آلی تجزیه می‌شوند مواد ژلاتینی و لزج میکروبی همراه با باکتری‌ها و قارچ‌ها سبب تقویت ایجاد ساختمان اسفنجی می‌گردند. مواد آلی ترشح یافته از ریشه‌ی نباتات نیز در این فرایند خاکدانه‌سازی شرکت می‌کنند.

محصولات آلی حاصل از تجزیه مانند پلی‌مرهای مرکب به‌طور شیمیایی با ذرات رس‌های سیلیکاتی و اکسیدهای آهن و آلومینیوم واکنش می‌کنند. این ترکیبات سبب آرایش رس‌ها در گروه‌هایی (حوزه رسی) می‌شود که سبب ایجاد پل در بین ذرات جداگانه خاک می‌گردد و بنابراین، سبب به هم پیوستن آن‌ها و ایجاد خاکدانه‌های مقاوم به آب می‌شوند (شکل ۲٦-٤ د).

در طول فرایند خاکدانه‌سازی، ذرات معدنی خاک (لای و شن ریز) به‌وسیله‌ی قطعاتی از پس‌مانده‌های گیاهی پوسیده و سایر مواد آلی پوشش یافته و سخت می‌شوند. حتی در مقیاس کوچک‌تر ذرات ذره‌بینی بقایای تجزیه شده ذرات هموس به‌وسیله‌ی ذرات رسی پوشیده می‌شوند. شکل ۲۹-٤ شواهد مستقیم حوزه‌های معدنی ــ آلی، که ذرات خاک را به‌هم اتصال داده نشان می‌دهند.

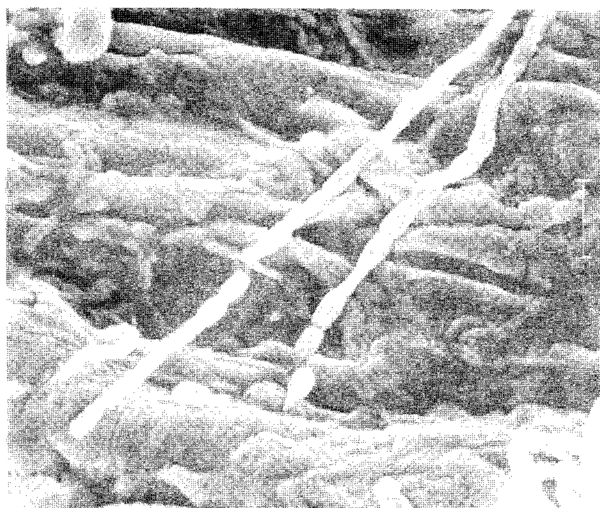
تأثیر عملیات خاک‌ورزی : پیشرفت‌های نوینی در علف‌کش و ادوات کشت‌وکار امکان مبارزه با علف‌های هرز و استقرار بذر را بدون انجام عملیات خاک‌ورزی فراهم کرده است. هرچند بعضی از مدیران خاک هنوز عملیات خاک‌ورزی را برای استفاده‌ی خاک‌ها در کشاورزی عادی و لازم می‌دانند. خاک‌ورزی می‌تواند هم اثرات مطلوب و هم اثرات نامطلوب بر روی خاکدانه‌سازی داشته باشد. اگر هنگام انجام عملیات خاک‌ورزی خاک خیلی خشک و خیلی مرطوب نباشد، اثرات خاک‌ورزی معمولاً مطلوب است. ادوات خاک‌ورزی سبب خردشدن کلوخه‌ی درشت، مخلوط‌کردن مواد آلی، کشتن علف‌های هرز و ایجاد بستر مناسب می‌گردند (تابلو۵-٤ را مشاهده کنید). بلافاصله پس از شخم زدن، خاک سطحی سست می‌شود (نیروی چسبندگی آن کاهش می‌یابد) و تخلخل کل افزایش می‌یابد.

در طولانی‌مدت، عملیات خاک‌ورزی دارای اثرات زیانباری بر ساختمان خاک سطحی می‌شود. اول این‌که، مخلوط‌کردن و به‌هم‌زدن خاک در خاک‌ورزی سبب تسریع اکسایش ماده‌ی آلی و کاهش اثرات خاکدانه‌سازی این عامل می‌شود. دوم، پی‌آمد عملیات خاک‌ورزی در

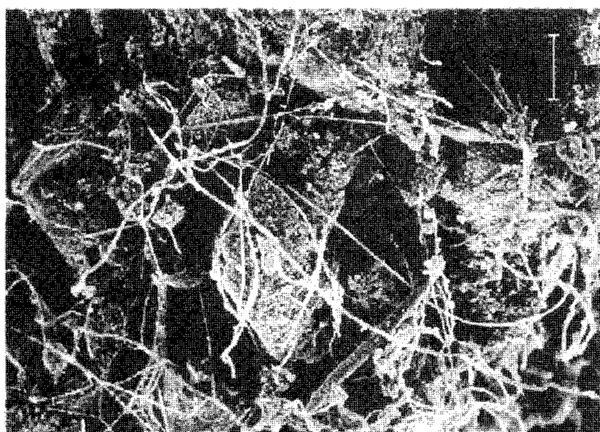
---

[1] - Micorrhizae
[2] - Glomalin

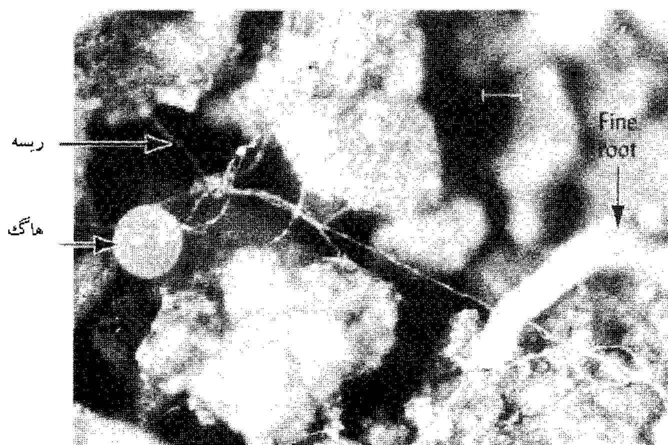
خاک مرطوب خرد و یا خراب‌شدن خاکدانه‌های پایدار، و ازبین‌رفتن تخلخل درشت و ایجاد شرایط گلخرابی[1] می‌گردد. این عمل همچنین سبب آشکارشدن مواد آلی نگهداری شده در داخل خاکدانه‌ها گردیده و تجزیه آنرا تسریع می‌کند. تفاوت بسیار زیاد بین خاک سطحی شخم خورده و شخم نخورده(چمن‌زار) درشکل ۳۱-٤ نشان داده شده است.



(الف)



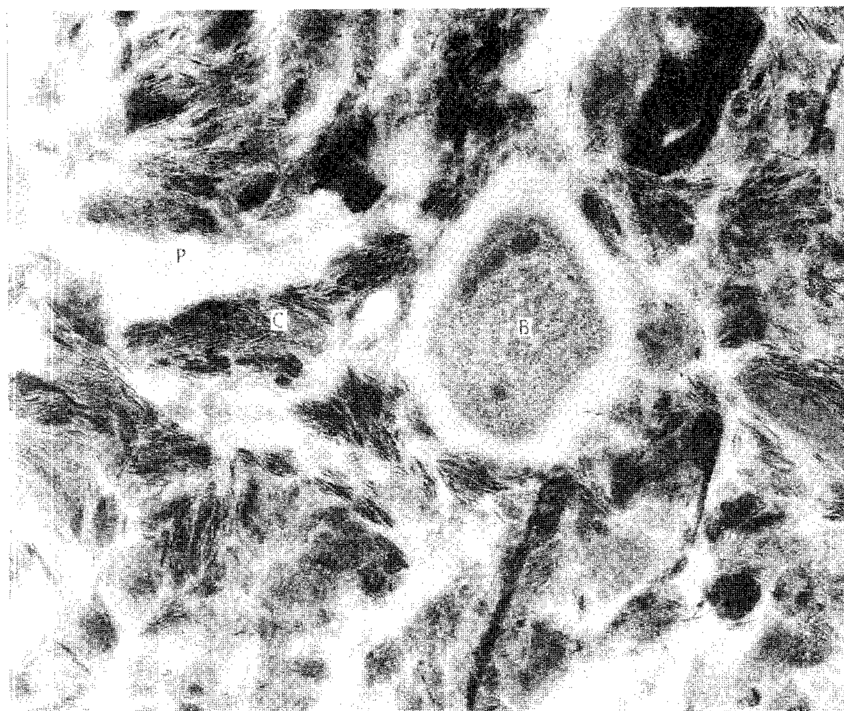
(ب)



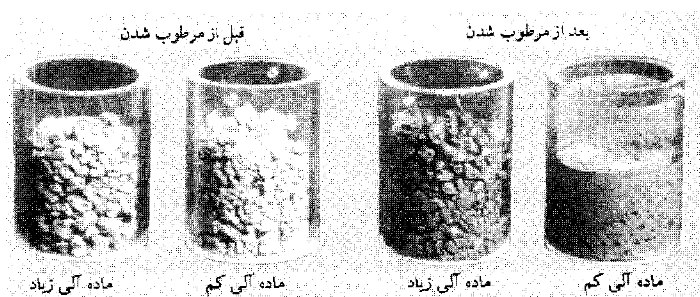
(ج)

شکل ۲۸-٤ ریسه‌ی قارچ‌ها خاکدانه‌ها را به هم‌دیگر پیوند می‌دهد. (الف) نمای نزدیک یک ریسه که بر روی سطح یک ذره‌ی معدنی که به‌وسیله‌ی سلول‌های میکروبی و بقایای آن‌ها پوشیده شده است. اندازه‌ی میله ۱۰ میکرومتر است. (ب) یک مرحله‌ی پیشرفته از خاکدانه‌ای‌شدن طی تشکیل خاک از شن تپه‌ها. به تور ریسه قارچ‌ها و سخت‌کردن ذرات معدنی با بقایای آلی توجه کنید. اندازه میله ۵۰ میکرومتر است. (ج) ریسه‌ی قارچ‌ها همراه با ریشه گیاهان از جنس گیگاسپر[2] که ذرات لوم شنی را به هم‌دیگر متصل می‌کنند. به اسپر قارچ‌ها و ریشه گیاه توجه کنید. اندازه‌ی میله ۳۲۰ میکرومتر است.

[1] - Puddle
[2] - Gigaspore



شکل ۲۹-٤ ریز مقطع فوق‌العاده[1] نازک که تعامل بین مواد آلی و رس‌های سیلیکاتی را دریک خاکدانه‌ی مقاوم به آب تشریح می‌کند. مواد سیاه رنگ (C) گروه‌های ذرات رسی است که با پلی‌ساکاریدهای آلی در تعامل می‌باشند (P). یک سلول باکتریایی (B) نیز به‌وسیله‌ی پلی‌ساکاریدهای احاطه شده است. به جهت گیری افقی ذرات رسی، که به‌وسیله‌ی مواد آلی ایجاد شده است، توجه کنید.



شکل ۳۰-٤ خاکدانه‌های غنی از ماده‌ی آلی، بسیار پایدارتر از خاکدانه‌های دیگر فاقد ماده‌ی آلی می‌باشند. خاکدانه‌های با ماده‌ی آلی کم وقتی مرطوب هستند وا می‌روند درصورتی‌که آن‌هایی که دارای ماده‌ی آلی زیاد می‌باشند پایدار هستند.



شکل ۳۱-٤ خاک گلخراب (سمت چپ) و خاک دارای خاکدانه‌های مناسب (سمت راست). ریشه‌ی گیاهان و به‌خصوص هموس نقش مهمی‌در خاکدانه‌سازی دارند. بنابراین چمن سبب تقویت ساختمان خاکدانه‌ها در سطح خاک‌های تحت کشت‌وکار می‌باشد.

[1]- Ultrathin section

۸-٤ عملیات خاک‌ورزی و مدیریت ساختمان خاک

اکثر خاک‌های تحت پوشش متراکم، درصورتی‌که براثر عملیات خاک‌ورزی مورد تعرض قرار نگرفته باشند (به‌استثنای خاک‌ها با پوشش پراکنده در مناطق خشک)، دارای یک ساختمان سطحی چنان پایداری هستند که امکان نفوذ سریع آب را فراهم کرده و از سله بندی جلوگیری می‌کنند. برای مدیر خاک‌های زراعی توسعه و نگهداری ساختمان پایدار سطحی در خاک یک چالش عمده می‌باشد. بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که خاکدانه‌ای‌شدن و خصوصیات مطلوب همراه آن مانند میزان نفوذ آب با کشت گیاهان ردیفی در طولانی مدت کاهش می‌یابد (جدول ۸-٤).

عملیات خاک‌ورزی و شخم‌آیی خاک[1]

شخم‌آیی به‌طور ساده، به شرایط فیزیکی خاک در ارتباط با رشد گیاه تعریف شده است. شخم‌آیی نه‌تنها وابسته به تشکیل خاکدانه‌ها وپایداری خاک است، بلکه در ارتباط با عواملی چون چگالی ظاهری، میزان رطوبت خاک، میزان تهویه، میزان نفوذ، زه‌کشی و ظرفیت موینگی خاک می‌باشد. همان‌طورکه باید انتظار داشت شخم‌آیی اغلب به‌سرعت و به میزان قابل‌توجهی تغییر می‌یابد. برای نمونه خصوصیات کارکردن با خاک‌های بافت ریز ممکن‌است به طور شدیدی با تغییر کوچکی در رطوبت تغییر یابد.

خاک‌های رسی به‌خصوص به گلخرابی و تراکم به دلیل شکل‌پذیری و چسبندگی زیاد آن‌ها حساس می‌باشند. پی‌آمد خشکی خاک‌های گلخراب رسی تراکم و سخت‌شدن آن‌هاست. زمان مناسب تردد در خاک‌های رسی بسیار مشکل‌تر از خاک‌های شنی می‌باشد، زیرا خشک‌شدن خاک رسی برای رسیدن به یک رطوبت مناسب بسیار طولانی است به‌علاوه ممکن‌است چنان خشک گردد که کارکردن در آن آسان نباشد.

مدیریت بعضی از خاک‌های رسی مناطق مرطوب گرمسیری بسیار آسان‌تر از خاک‌هایی است که در سطور قبل بیان شدند. در بخش رس این خاک‌ها، اکسیدهای آبدار آهن وآلومینیوم غالب می‌باشند که چندان چسبنده و شکل‌پذیر نبوده و دارای مشکل کارکردن نمی‌باشند. این خاک‌ها ممکن‌است دارای خصوصیات فیزیکی بسیار مطلوب باشند، زیرا مقادیر زیادی آب را نگهداری کرده اما خاکدانه‌های آن‌ها چنان پایدار است که عکس‌العمل آن‌ها بعد از باران به عملیات خاک‌ورزی بسیار شبیه خاک‌های شنی است.

در مناطق حاره‌ای و شبه‌حاره‌ای با فصل خشک طولانی، خاک اغلب باید در حالت بسیار خشک، به‌منظور آماده‌کردن اراضی برای کشت در شروع بارندگی‌ها، مورد شخم و شیار قرار گیرد. خاک‌ورزی در چنین شرایط خشکی می‌تواند بسیار مشکل و در صورت وجود رس‌های بسیار چسبناک منجر به ایجاد کلوخه‌های سخت گردد. بنابراین، درحالی‌که زارعین در مناطق معتدل با زمین‌های بسیار مرطوب برای انجام عملیات خاک‌ورزی درست قبل از زمان کشت (اول بهار) مواجه می‌باشند. زارعین در مناطق حاره‌ای ممکن‌است با مسأله عکس یعنی با خاک‌های بسیار خشک برای انجام خاک‌ورزی آسان قبل از کشت (آخر فصل خشک) مواجه گردند.

خاک‌ورزی مرسوم و تولید محصولات زراعی

از قرون وسطی به این‌طرف گاوآهن برگرداندار معمول‌ترین عملیات خاک‌ورزی اولیه مورد استفاده در جهان غرب بوده است[2]. هدف این شخم بلندکردن، چرخاندن و برگرداندن خاک ضمن مخلوط‌کردن پس‌مانده‌های گیاهی و فضولات حیوانی در لایه شخم می‌باشد(شکل۳۲-٤). گاوآهن برگرداندار معمولاً با گاوآهن بشقابی همراه است که برای بریدن بقایا و مخلوط‌کردن نسبی آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در عملیات معمول این ادوات خاک‌ورزی اولیه به‌وسیله‌ی تعدادی عملیات خاک‌ورزی ثانویه، مانند دندانه‌زدن برای از بین بردن علف‌های هرز و شکستن کلوخه‌ها، و تهیه بستر مناسب دنبال می‌شوند.

1- Tilth

2 -برای یک نقد قدیمی اما باارزش درمورد گاوآهن برگرداندار به مقاله‌ی Faulkner (۱۹٤۳) مراجعه کنید.

تابلو ۵-٤ تهیه‌کردن یک بستر بذر مناسب

در آغاز فصل کشت، یکی از فعالیت‌های زارع و یا باغدار تهیه‌کردن بستر بذر مناسب می‌باشد که تضمین کند عملیات به طور یکنواخت صورت گرفته و گیاهان با سرعت زیاد،به‌طور یکنواخت و فاصله‌ی کافی سبز خواهند شد.

یک بستر بذر مناسب باید از خاکی کاملاً نرم تشکیل شده باشد تا امکان طویل‌شدن ریشه و ظهور گیاهچه را فراهم آورد (شکل الف). از طرف دیگر بستر بذر باید به اندازه‌ی کافی فشرده باشد تا امکان تماس بین بذر و خاک مرطوب را برای آماس‌کردن بذر و جوانه‌زدن آن تضمین کند. بستر بذر باید از کلوخه‌های درشت تقریباً عاری باشد، زیرا بذر در بین این کلوخه‌ها از نظر سبزشدن در عمق زیادی قرار گرفته و تماس کافی با خاک مرطوب نخواهد داشت.

عملیات خاک‌ورزی ممکن‌است برای سست‌کردن خاک متراکم مورد نیاز باشد و در اقالیم سرد کمک می‌کند که خاک خشک شده با سرعت بیشتر گرم شود. از طرف دیگر، اهداف تهیه بستر بذر ممکن‌است با انجام عملیات خاک‌ورزی کم و یا انجام فعالیت بدون خاک‌ورزی درصورت مساعدبودن شرایط اقلیمی و یا استفاده از خاک‌پوش و علف‌کش برای مبارزه با علف‌های هرز زودهنگام تحقق یابد.

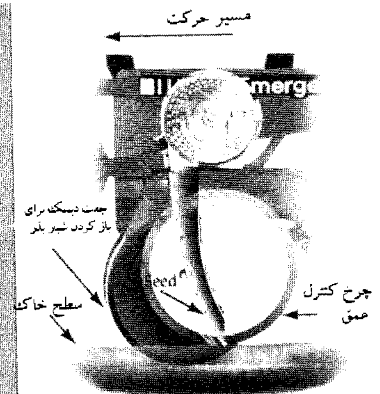
بذرکارهای مکانیکی می‌توانند در حفظ بستر مناسب بذر مؤثر باشند. بسیاری از بذرکارها با علف بر (صفحات تیز فولادی) مجهز بوده که بتوانند راهی را در داخل بقایای گیاهان در سطح خاک باز کرده به‌طوری‌که این بقایا در ضمن حرکت بذرکار جمع نشده و بذرکار را مسدود نکنند. بذرکار بدون خاک‌ورزی معمولاً با دو جفت چرخ تیز برنده که به آن‌ها جفت بشقاب بازکننده می‌گویند علف بر را دنبال کرده و شکافی در داخل خاک ایجاد می‌کنند که بذور در داخل آن فرو می‌ریزند (شکل‌های ب و ج را مشاهده کنید). اکثر بذرکارها دارای یک چرخ فشاری بوده که در پشت سر لوله‌ی سقوط بذرکار قرار داشته و خاک سست ایجاد شده را چنان تحت فشار قرار می‌دهد که از بسته‌شدن شیار باز شده و از تماس بذر با خاک مرطوب اطمینان حاصل گردد.



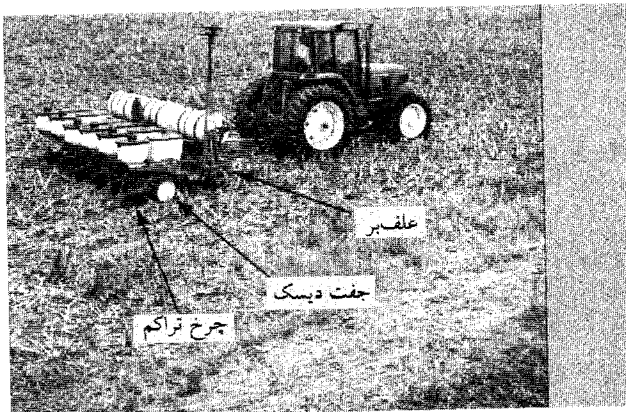
(الف) یک گیاهچه‌ی لوبیا از بستر بذر خارج می‌شود

مطلوب این است که یک نوار نازک در ردیف بذر برای ایجاد منطقه جوانه‌زدن تحت تراکم قرار گیرد درحالی‌که خاک بین ردیف‌های کشت تا آن‌جاکه مقدور است برای ایجاد منطقه توسعه‌ی ریشه سست باقی بماند

سطح منطقه بین ردیف‌های کشت باید به‌صورت ناهموار برای نفوذ هرچه بیشتر آب و جلوگیری از فرسایش باقی بماند.اصول فوق برای باغداران که ممکن‌است با دست بذرکاری را انجام دهند صادق می‌باشد



(ج) تصویری که نشان می‌دهد چگونه کار می‌کند.



(ب) یک بذرکار بدون خاک‌ورزی در حال کار.

جدول ۸-٤ تأثیر طول زمان کشت‌وکار ذرت در میزان ماده‌ی آلی خاک، پایداری خاکدانه‌ها و نفوذپـذیری آب در خـاک لـوم سیلتی انسپتی‌سول در جنوب فرانسه

در خاک‌هایی که از ماده‌ی آلی تخلیه شده‌بودند، خاکدانه‌ها تحت تأثیر آب به آسانی خرد شده و خاکدانه‌های کوچک‌تر و مواد معلق ایجاد کرده که سبب اندودکردن سطح خاک و ممانعت از نفوذپذیری‌شدند. به‌نظر می‌رسـد ۳ درصـد مـاده‌ی آلـی بـرای پایداری ساختمانی در این مناطق معتدل دارای خاک‌های لوم سیلتی کفایت کند.

طول مدت کشت وکار سال	درصد ماده‌ی آلی	پایداری خاکدانه‌ها MWD (mm) **	نفوذپذیری* ٪ از کل باران	قبل از ماندابی‌شدن (mm)
۱۰۰	۰/۷	۰/۳۵	۲۵	٦
٤۷	۱/٦	۰/٦۱	۳٤	۹
۳۲	۲/٦	۰/۷٦	۳۸	۱۵
۲۷	۳/۱	۱/۳۸	٤۷	۲۵
۱۵	٤/۲	۱/۵۲	٤٤	۲۳

* نفوذپذیری مقدار آب وارد شده به خاک بعد از اعمال ٦٤ میلی‌متر باران در طی دو ساعت.

** میانگین وزنی قطر خاکدانه‌هایی که بعد از الک‌کردن در آب دست نخورده باقی می‌مانند.

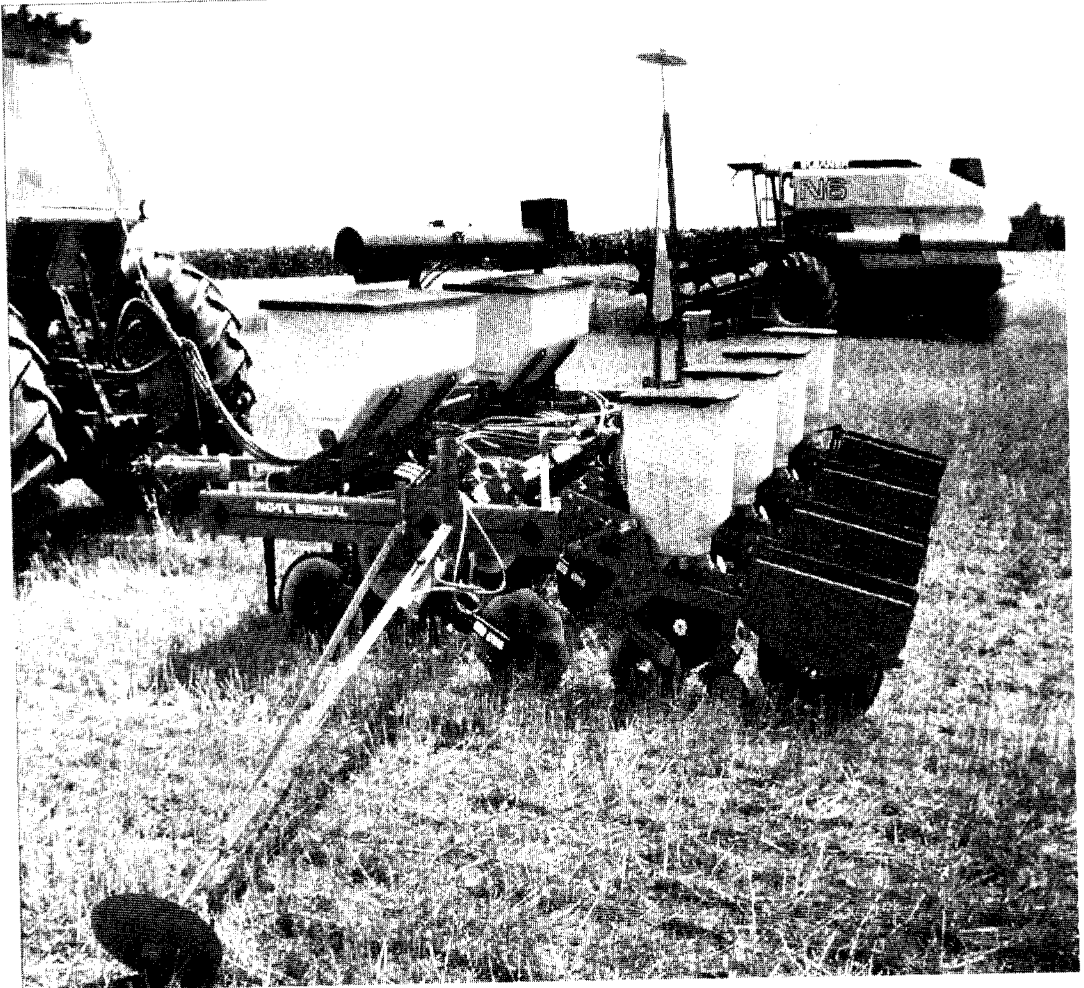
بعد از کاشت نبات در خاک، ممکن‌است عملیات خاک‌ورزی ثانویه بیشتری برای مبارزه با علف‌های هرز و خردکـردن سـله در سـطح خاک انجام گیرد. در کشاورزی مکانیزه، تمام عملیات خاک‌ورزی معمولاً به‌وسیله‌ی تراکتور و یا دیگر ادوات سنگین کـه ممکـن‌اسـت در روی خاک قبل ار برداشت محصول بارها تردد می‌کنند، انجام می‌گیرد. در بسیاری از مناطق جهان، زارعین از کج بیل‌های دستی و یا ادوات دنباله بند حیوانات برای به‌هم‌زدن خاک استفاده می‌کنند. اگرچه وزن انسان‌ها و حیوانات باربر به اندازه‌ی تراکتورهای سنگین نمی‌باشد امـا وزن آن‌ها در سطح مقطع نسبتاً کمی (جای پا و یا اثر سم) اعمال می‌شود و بنابراین می‌توانند تراکم قابلِ‌ملاحظه‌ای را ایجاد کنند.



شکل ۳۲-٤ درحالی‌که کار گـــاوآهن برگـــردان‌دار بلنـدکـردن، برگردانــدن و سست‌کردن خاک در عمـق ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متری خـاک فوقـانی مـی‌باشـد (لایـه شخم). نیروی معادل رو بـه پایین سبب متراکم‌شدن لایه پایین خاک مـی‌شـود. ایـن منطقه متراکم شده می‌توانـد به یک سخت لایـه شـخم تبدیل شود. این عمل تراکم را مـی‌تـوان بـا تـصور بلندکردن یک بار سـنگین و فـشار آوردن پـا در حـین بلندکردن بـر کـف (سـطح زمینی) درک کرد.

خاک‌ورزی حفاظتی و شخم‌آیی خاک

در سال‌های اخیر، نظام‌های مختلف مدیریت اراضی برای به حداقل‌رساندن نیاز خاک‌ورزی ابداع شده است. از آن‌جاکه این نظام‌ها مقدار قابل‌ملاحظه‌ای پس‌مانده‌های گیاهی برروی خاک ویا نزدیک سطح خاک باقی می‌گذارند، خاک را دربرابر فرسایش محافظت می‌کنند (بخش ٦-١٧ را برای مطالعه بیشتر مشاهده کنید). به این دلیل، عملیات خاک‌ورزی در این نظام‌ها، خاک‌ورزی حفاظتی[1] نامیده می‌شود. شکل ٣٣-٤ یک نوع نظام بدون خاک‌ورزی را نشان می‌دهد که یک گیاه زراعی در پس‌ماند زراعت دیگری بدون آن‌که عملیات خاک‌ورزی انجام گیرد، کاشته می‌شود. سایر نظام‌های حداقل خاک‌ورزی امکان به‌هم‌زدن خاک را تا حدی فراهم می‌کنند اما بخش زیادی از پس‌مانده‌های گیاهی را بر روی سطح زمین باقی می‌گذارند. این پس‌مانده‌های آلی خاک را از برخورد ضربات قطرات باران و عمل سایشی باد محافظت می‌کنند، و بنابراین سبب کاهش فرسایش آبی و بادی و نگهداری ساختمان خاک می‌گردند.



شکل ٣٣-٤ تشریح یک نظام خاک‌ورزی حفاظتی. ضمن برداشت گندم(قسمت عقب عکس) لوبیا روغنی درحال کشت‌شدن (جلو عکس) بدون انجام هرنوع عملیات خاک‌ورزی می‌باشد. این نظام بدون خاک‌ورزی امکان دوکِشتی را فراهم کرده و سبب صرفه‌جویی درهزینه سوخت و زمان، و حفاظت خاک می‌شود.

1 – Conservation tillage وزارت کشاورزی آمریکا نظامی که حداقل در ٣٠ درصد سطح، پس‌مانده‌های گیاهی را به جای می‌گذارد خاک‌ورزی حفاظتی می‌داند.

سله‌بستن خاک

قطرات باران در حین یک بارش سنگین و یا آبیاری بارانی به خاکدانه‌های سطحی برخورد و آن‌ها را خرد می‌کنند. در بعضی خاک‌ها حل‌شدن نمک‌ها در اثر آب سبب پراکنده‌شدن رس‌ها می‌شود. وقتی خاکدانه‌ها پراکنده‌شدند، ذرات کوچک و ذرات پراکنده رس به‌داخل منافذ خاک آب‌شویی و سبب بسته‌شدن آن‌ها می‌شوند و بلافاصله سطح خاک به‌وسیله‌ی یک لایه‌ی نازک از این مواد ریزبافت بدون ساختمان، که اندوده سطحی[1] نامیده می‌شود، پوشش می‌یابد. اندوده‌ی سطحی از نفوذ آب ممانعت کرده وسبب هدررفت بیشتر خاک می‌شود.

با خشک‌شدن اندوده سطحی، یک سله[2] سخت ایجاد می‌شود. در این شرایط اگر گیاهچه‌ای سر برآورد فقط از داخل ترک‌های سله امکان‌پذیر خواهد بود. یک خاک تشکیل‌دهنده‌ی سله در شکل ۳۴-٤ با یک خاک دارای خاکدانه‌های پایدار مقایسه شده است. تشکیل سله درست به‌دنبال کشت یک نبات ممکن‌است امکان دهد تعداد بذر اندکی جوانه بزند به‌طوری‌که نبات باید احتمالاً مجدداً کشت گردد. در مناطق خشک و نیمه‌خشک تشکیل اندوده و سله می‌تواند پی‌امدهای تأسف‌باری داشته باشد، زیرا هدررفت بالای رواناب، آب قابل‌استفاده اندکی را برای رشد نبات باقی خواهد گذاشت.

سله بستن می‌تواند با باقی‌گذاشتن مقداری پوشش گیاهی و یا پوشش سطحی در روی اراضی برای کاهش برخورد قطرات باران به‌حداقل برسد. وقتی سله تشکیل شود ممکن‌است لازم باشد برای نبات جدیداً کشت شده به شکستن سله با خاک‌ورزی سبک (مانند دندانه دوار)، ترجیحاً وقتی که خاک هنوز مرطوب است اقدام کرد. مدیریت پیشرفته‌ی ماده‌ی آلی خاک و استفاده از مواد خاص اصلاح‌کننده می‌تواند سبب بهبود خاک و جلوگیری از پراکندگی رس وتشکیل سله گردد (بخش ۱۰-۱۰ را مشاهده کنید).

مواد اصلاح‌کننده خاک

گچ : گچ یا سولفات کلسیم به‌طور وسیعی به‌صورت نسبتاً خالص در معادن و یا به‌صورت یکی از فرآورده‌های فرعی محصولات مختلف صنعتی یافت می‌شود. مشخص شده است که گچ در بهبود شرایط فیزیکی بسیاری از انواع خاک‌ها، از خاک‌های خیلی هوا دیده‌ی اسیدی تا خاک‌های نسبتاً شور دارای سدیم زیاد، در مناطق نیمه‌خشک مؤثر است (فصل ۱۰ را مشاهده کنید). محصولات خیلی محلول حاوی گچ الکترولیت کافی (کاتیون و آنیون) را برای ارتقاء هماوری و جلوگیری از پراکندگی خاکدانه‌ها ارایه می‌کنند و بنابراین از تشکیل سله‌ی سطحی ممانعت می‌کنند. آزمایش‌های صحرایی مشخص کرده‌اند خاک‌هایی که در آن‌ها گچ مصرف شده است امکان نفوذ بیشتری را به آب داده و کمتر از خاک‌هایی که در آن‌ها گچ مصرف نشده است در معرض فرسایش می‌باشند. گچ همچنین می‌تواند مقاومت لایه‌های زیر سطحی سخت را کاهش دهد، بنابراین امکان توسعه بیشتر ریشه و جذب بیشتر آب را از خاک تحت‌الارضی فراهم می‌کند.

پلی‌مرهای مصنوعی آلی

پلی‌مرهای مصنوعی آلی خاص می‌توانند ساختمان خاک را بسیار شبیه با پلی‌مرهای آلی طبیعی مانند پلی‌ساکاریدها پایدار کنند. درحالی‌که مصرف زیاد این پلی‌مرها از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر نیست، مشخص شده است که مصرف آن‌ها به‌طور مناسب حتی در مقادیر بسیار اندک از تشکیل سله ممانعت خواهد کرد. از آنجاکه سله‌بستن یک پدیده‌ی سطحی است جلوگیری از آن نیازمند مصرف پلی‌مر کافی برای چند میلی‌متر خاک سطحی می‌باشد. ثابت شده است اضافه‌کردن پلی‌مر به آب آبیاری یک راه مطمئن و مؤثر برای مصرف مقادیر اندک مورد نیاز است. برای نمونه، پلی‌اکریل آمید (PAM) وقتی به مقدار کم در محدوده‌ی ۱ تا ۱۵ میلی‌گرم در لیتر آب آبیاری اضافه شود و یا در مقادیر اندک یک تا ۱۰ کیلو در هکتار پاشیده شود، در پایداری خاکدانه‌های سطحی مؤثر خواهد بود. شکل ۳۵-٤ نشان داده است که مصرف یک پلی‌اکریل آمید مصنوعی در آب آبیاری تأثیر چشم‌گیری در پایداری خاکدانه‌ها داشته است. در تعداد زیادی تحقیقات نشان داده شده است که بهترین نتیجه می‌تواند با ترکیب PAM با محصولات حاوی گچ به‌دست آید.

سایر مواد اصلاح‌کننده خاک

گونه‌های متعددی از جلبک‌ها که در نزدیکی سطح خاک زندگی کرده، و ترکیبات بسیار مؤثر پایدار کننده‌ی خاکدانه‌ها را تولید می‌کنند، شناخته شده‌اند. مصرف مقادیر اندک مواد تجاری حاوی این جلبک‌ها می‌تواند بهبود قابل‌توجهی درساختمان خاک سطحی ایجاد کند. مقدار مواد اصلاحی مورد لزوم بسیار اندک می‌باشد، زیرا جلبک‌ها درصورت استقرار می‌توانند تکثیر یابند.

---

1 - Surface seal
2 - Crust

مواد مختلف هموسی به‌خاطر اثرات آن‌ها در بهبود خاک در صورت مخلوط‌شدن به‌مقدار کم با خاک (کمتر از ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار) مورد خرید و فروش می‌باشند. هرچند مطالعات دقیق انجام گرفته در بسیاری از دانشگاه‌ها قادر نبوده‌اند نشان دهند که این مواد در پایداری خاکدانه‌ها آن‌طور که ادعا شده است اثر قابلِ‌ملاحظه‌ای دارند.

راهنمایی‌های کلی برای مدیریت شخم‌آیی خاک

گرچه هرخاک مسایل وچالش‌های خاصی را مطرح می‌کند اصول زیر معمولاً درارتباط با مدیریت شخم‌آیی خاک مطرح می‌باشند.

۱- حداقل نمودن خاک‌ورزی، به‌خصوص شخم با گاوآهن برگرداندار، دیسک دندانه‌ای و دیسک دوار هدررفت ماده‌ی آلی تثبیت‌کننده خاکدانه‌ها را کاهش می‌دهد.

۲- زمان‌بندی انجام فعالیت‌های حمل‌ونقل در خاک در مواقعی که خاک تا آنجا که مقدور است خشک باشد و محدودکردن انجام عملیات خاک‌ورزی به ایامی که شرایط بهینه‌ی رطوبت خاک تخریب ساختمان آن را به حداقل برساند.

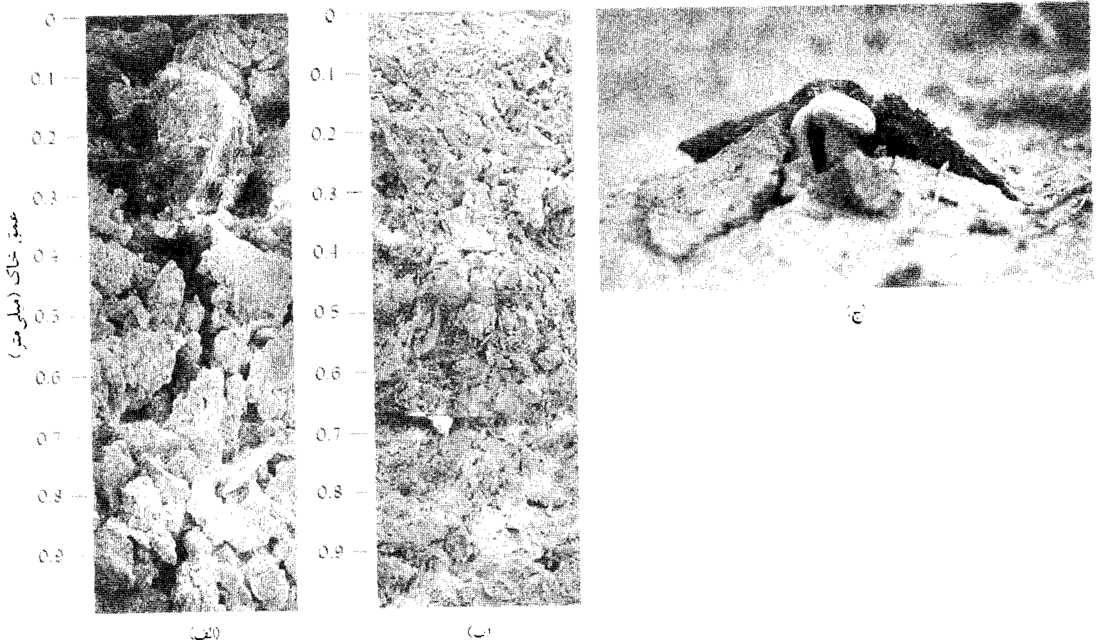
۳- پوشش دادن سطح خاک به‌وسیله‌ی بقایای محصول و لاشبرگ گیاهی سبب افزایش ماده‌ی آلی و تقویت فعالیت کرم‌های خاکی و محافظت خاکدانه‌ها از ضربات کوبنده قطرات باران خواهد شد.

٤- اضافه‌کردن پس‌مانده‌های گیاهی، کمپوست و کود دامی به خاک سبب تشدید عرضه‌ی محصولات حاصل از تجزیه‌ی میکروبی مؤثر در ثبات خاکدانه ها خواهدشد. شکل ٣٦-٤ تقویت خاکدانه ای شدن را که از افزایش کود مرغی به یک خاک لوم رسی حاصل شده‌است نشان می‌دهد.

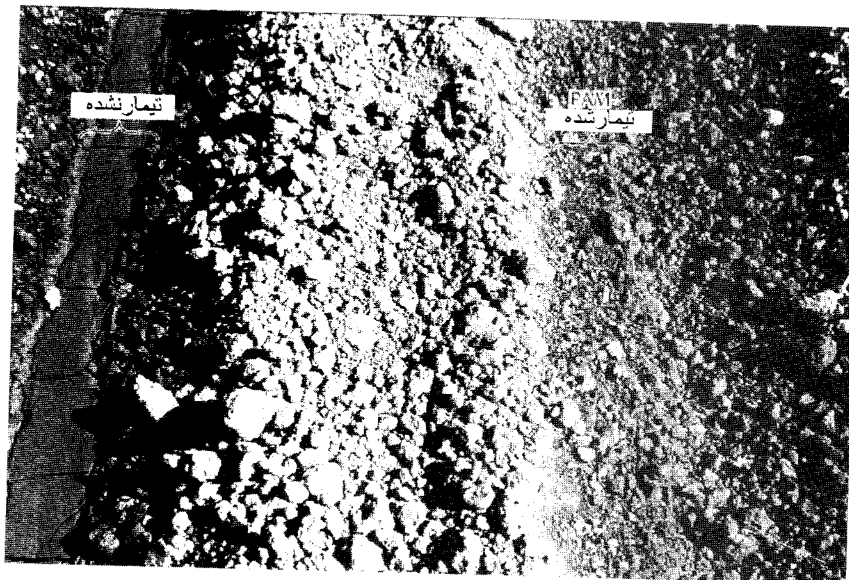
۵- قراردادن گیاهان چمنی در تناوب به خاطر کمک به نگهداری ماده‌ی آلی و امکان حداکثر تأثیر در خاکدانه‌سازی به‌وسیله‌ی ریشه گیاهان و تضمین یک دوره بی‌خاک‌ورزی برای خاکدانه‌سازی پایدار مطلوب است. اطلاعات جدول ۹-٤ اثر زیانبار کشت مداوم ذرت واهمیت سایر گیاهان غیرردیفی را برای حفظ خاکدانه‌های پایدار در آب تشریح می‌کند.

٦- استفاده از گیاهان پوششی و گیاهان کود سبز درصورت امکان، یک منبع خوب دیگری از فعالیت ریشه و ماده‌ی آلی برای مدیریت ساختمان خاک فراهم می‌آورد.

۷- مصرف گچ (و یا سنگ آهک وقتی خاک اسیدی باشد) به‌تنهایی و یا در ترکیب با پلی‌مرهای مصنوعی می‌تواند در تثبیت خاکدانه‌های سطحی به‌خصوص در خاک‌های تحت آبیاری مؤثر باشد.



شکل ٣٤-٤ ریز تصویر الکترونیکی منقطع از ۱ میلی‌متر خاک فوقانی با خاکدانه‌های پایدار (الف) در مقایسه با خاکدانه‌های ناپایدار (ب). توجه کنید که خاکدانه‌ها بلافاصله در سطح خاک تخریب و یک سله‌ی سطحی ایجاد شده است. گیاهچه‌های لوبیا (ج) به‌محض خروج از بستر بذر باید سله‌ی خاک را خرد کند.



شکل ۳۵-٤ اثرات قابل ملاحظه پلی‌اکریل آمید مصنوعی در پایداری خاکدانه‌ها از شیار واقع در سمت راست عکس در مقایسه با شیار تیمار نشده در سمت چپ عکس دیده می‌شود. آب آبیاری ساختمان بسیاری از خاکدانه های خاک تیمار نشده را تخریب کرده اما اثری بر روی شیار تیمار شده نداشته است.



(الف)



(ب)

شکل ۳٦-٤ مخلوط‌کردن کود دامی و سایر مواد آلی دارای سهولت تجزیه می‌تواند اثرات شدیدی بر خاکدانه‌سازی خاک به‌خصوص ایجاد خاکدانه‌های بزرگ پایدار داشته باشد. این خاک که از آن عکس گرفته شده است. لوم رسی داویدسون (پالودولت[1]) از ایالت ویرجینیا می‌باشد که در آن کود شیمیایی (الف) و یا کود مرغی (ب) برای مدت ۵ سال مصرف شده است درحالی‌که هر دو خاک دارای نسبت بالایی از خاکدانه‌های پایدار در آب می‌باشند در خاک تیمار شده با کود مرغی دارای خاکدانه‌ها و منافذ درشت‌تری می‌باشد. عرض هر عکس ۱۰ سانتی‌متر است.

جدول ۹-٤خاکدانه‌های پایداردرآب دریک خاک یودول(لوم سیلتی مارشال)نزدیک کلاریندادرایالت ایوا زیرکشت‌های مختلف

زراعت	درصد خاکدانه‌های پایدار در آب	
	بزرگ‌تر از ۱ میلی‌متر	کوچک‌تر از ۱ میلی‌متر
کشت مداوم ذرت	۸/۸	۹۱/۲
ذرت در تناوب	۲۳/۳	۷٦/۷
چمن در تناوب	٤۲/۲	۵۷/۸
کشت بلوگراس مداوم	۵۷	٤۳

1 - Davidson clay loam (Paleudults)

۹-٤ خصوصیات خاک در ارتباط با استفاده‌های مهندسی

درجات مختلف استحکام خاک در مزرعه و مفهوم پایداری

استحکام خاک[1]: واژه‌ای است که به‌وسیله‌ی دانشمندان خاک برای تشریح مقاومت خاک به تنش مکانیکی و یا دستکاری آن در مقادیر مختلف رطوبت اطلاق می‌شود. درجه‌بندی استحکام خاک‌ها به‌صورت بخشی از تشریح خاکرخ و برآورد تناسب خاک برای حمل و نقل و خاک‌ورزی انجام می‌شود. این خصوصیت یک بیان مرکب از نیروهای جاذبه‌ی دو جانبه بین ذرات خاک و بین ذرات خاک و آب داخل منافذ می‌باشد که در آن سهولت تغییر شکل و یا شکسته‌شدن خاک تعیین می‌شود. استحکام در مزرعه معمولاً به‌وسیله‌ی لمس کردن و دستکاری خاک مشخص می‌گردد. وقتی یک کلوخه کوچک در بین انگشتان شست و اشاره فشار داده می‌شود (ویا زیر پا خرد می‌شود) مقدار نیروی لازم برای خردکردن کلوخه، و حالتی که در آن خاک به نیرو عکس‌العمل نشان می‌دهد مورد ملاحظه قرار می‌گیرد. میزان سیمانی‌شدن خاک با موادی مانند سیلیس، کلسیت و یا آهن نیز در تعیین استحکام خاک مورد ملاحظه قرار می‌گیرد. میزان رطوبت خاک تا حد زیادی در چگونگی واکنش خاک به فشار تأثیر دارد؛ بنابراین درجه‌بندی خاک‌های خشک و مرطوب جداگانه انجام می‌شود (جدول ۱۰-٤). یک خاک خشک رسی، که نمی‌تواند بین انگشتان شست و اشاره خرد شود، اما می‌تواند به‌سهولت زیرپا خرد شود، سخت[2] قلمداد می‌شود. این خاک مقاومت بیشتری را در مقابل تغییر شکل در حالت خشک خود نسبت به حالت مرطوب و شکل‌پذیر خود نشان می‌دهد.شخصی که اتومبیل او تا محورهای چرخ در گل چسبناک فرو رفته است دارای تجربه دست اولی از این خصوصیات می‌باشد. درحالی‌که اکثر واژه‌های جدول ۱۰-٤ دارای توضیحات کافی است، واژه خرد شونده [3]نیازمند به توضیح بیشتری است. اگر یک کلوخه مرطوب خاک با اندک فشار شکسته شده و به‌صورت خاکدانه درآید، می‌شود. به آن خردشونده گفته می‌شود در خاک‌های خرد شونده به آسانی خاک‌ورزی و حفاری انجام می‌شود.

درجه‌ی چسبندگی و شکل‌پذیری (قابلیت تغییر شکل[4]) خاک در شرایط مرطوب معمولاً در تشریح استحکام خاک بیان می‌شود. (گرچه در جدول ۱۰-٤ نشان داده نشده است).

پایداری[5]: واژه پایداری با روش مشابهی به‌وسیله‌ی مهندسین خاک برای بیان میزان مقاومت یک خاک در مقابل تغییرشکل هنگام اعمال یک نیرو مورد استفاده قرار می‌گیرد. هرچند پایداری خاک برپایه‌ی مقاومت در مقابل فرو رفتن یک شیی در داخل آن مشخص می‌شود استحکام خاک به‌نظر دانشمندان علوم خاک مقاومت به پاره‌شدن می‌باشد. به‌جای خردکردن یک کلوخه، مهندس خاک تلاش می‌کند که ته تراشیده یک مداد (بعضی از انگشت شست خود استفاده می‌کنند) و یا ناخن شست خود را در آن داخل کند. برای نمونه اگر ته مداد مقدار اندکی و ناخن شست به آسانی فرو رود خاک خیلی سفت [6]درجه‌بندی می‌شود(جدول ۱۰-٤).

مشاهدات صحرایی استحکام و پایداری خاک هر دو اطلاعات قابل ارزشی را درمورد بارگذاری و دستکاری خاک‌ها ارائه می‌دهد. هرچند در ساختمان‌سازی مهندسین خاک معمولاً باید از تعدادی از خصوصیات مربوط به خاک، که در تخمین چگونگی عکس‌العمل خاک به نیروی به‌کار برده به ما کمک می‌کنند، اندازه‌گیری‌های دقیق‌تری به‌عمل آورند.

مقاومت خاک و شکست ناگهانی [7]

شاید مهمترین ویژگی یک خاک برای استفاده مهندسی مقاومت آن باشد؛ و این میزان ظرفیت یک توده خاک برای مقاومت در مقابل تنش‌ها و تحمل آن‌ها بدون پاره‌شدن و تغییرشکل می‌باشد. شکست یک خاک در مقابل تنش را می‌توان با سرنگون‌شدن ساختمان وقتی وزن آن از ظرفیت بار گذاری خاک افزونی یابد، و یا وقتی سد خاکی در مقابل فشار آب مخزن پشت سد ویران می‌شود و یا وقتی پیاده‌روها و ساختمان‌ها در یک شیب ناپایدار می‌لغزند، مشاهده کرد.

---

1 - Consistence
2 - Hard
3 - Friable
4 - Malleability
5 - Consistency
6 - Very firm
7 - Soil strength and Sudden failure

جدول۱۰-٤ بعضی از آزمایش‌های صحرایی و واژه‌هایی مورد استفاده برای تشریح استحکام و پایداری خاک‌ها. پایداری مـواد چسبنده در ارتباط نزدیک با استحکام آن‌ها بوده اما دقیقاً مساوی آن نیست.شرایط کمترین چسبندگی به‌وسـیله‌ی واژه‌هـایی در بالای هر ستون و چسبندگی‌های بیشتر در پایین ستون آمده است.

استحکام خاک				پایداری خاک	
خاک خشک	خاک مرطوب تا خیس	خاک خشک شده سپس در آب مستغرق شده	خردشدن صحرایی از آزمایش (خردشدن)	خاک با رطوبت موجود	آزمایش‌های صحرایی فرو رفتن جسم در خاک
سست[1]	سست	--	نمونه نمی‌توان گرفت	نرم	نه مداد به‌راحتی تا عمق زیادی فرو می‌رود
نرم[2]	خیلی ترد[3]	سیمانی نشده[4]	با نیروی خیلی اندک بین شست و اشاره خرد می‌شود	سفت متوسط	نه مدادبا فشار متوسط تا عمق ۱/۲۵ سانتی‌متر فرو می‌رود
کمی سخت[5]	ترد	خیلی کم سیمانی شده	با نیروی اندک بین شست و اشاره خرد می‌شود	سفت	نه مداد تا ۰/۵ سانتی‌متر فرو می‌رود
سخت	سفت[6]	کمی سیمانی شده	بین شست و اشاره به‌سختی خرد می‌شود	خیلی سفت	فرو رفتن نه مداد به‌سختی قابل تشخیص است
خیلی سخت	خیلی سفت	متوسط سیمانی شده	بین شست و اشاره خرد نمی‌شود	سخت	فرو رفتن نه مداد قابل مشاهده نیست ناخن شست بسختی فرو می‌رود
فوق‌العاده سخت	کمی صلب سفت	قوی سیمانی شده	با وزن تمام بدن بر روی آن زیر پا خرد نمی‌شود	--	--

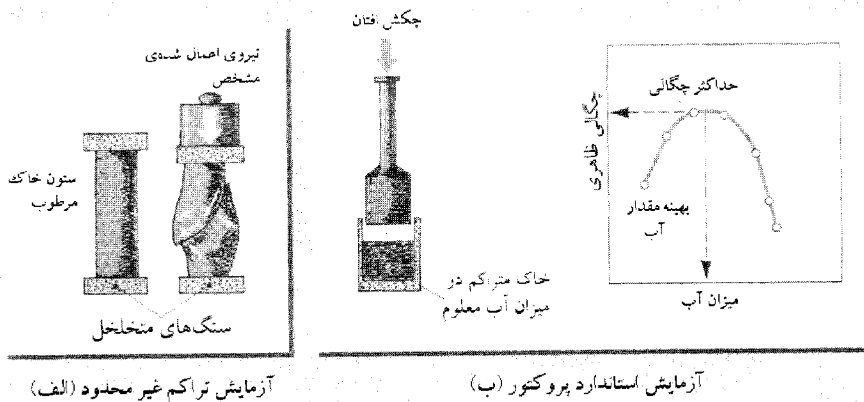
خاک‌های چسبنده: دوجزء از مقاومت را می‌توان درمورد خاک‌های چسبنده(عمدتاً خاک‌هایی که دارای میزان رس بیـشتر از۱۵درصـد می‌باشند) به‌کار برد. (۱)نیروهای جاذبه الکتریسیته ساکن ذاتی بین صفحات رسی وبین سطوح رس با آب موجود درمنافذ خیلـی ریـز (بـه بحث هماوری رس در بخش۷-٤ مراجعه کنیـد) و (۲)مقاومـت اصـطکاکی بـه‌حرکـت دربـین ذرات خـاک در تمـام انـدازه‌هـا. گرچـه اندازه‌گیری‌هایی مختلف آزمایشگاهی برای برآورد مقاومت خاک به‌عمل می‌آید، اما شاید ساده‌ترین روش قابل فهم آزمـایش تـراکم خـاک غیرمحبوس[7]و استفاده از وسیله‌ای می‌باشد که درشکل ۳۷-٤ الف نشان داده شده است. یک نمونه استوانه‌ای ازخاک چسبنده به‌طور قائم بین دوسنگ صاف مشبک قرار گرفته (امکان خروج آب را از منافذ خاک متراکم شده فراهم می‌کند) و نیروی روبـه‌پـایین بـه‌تـدریج افـزایش می‌یابد. ستون خاک ابتدا شکم برآمدگی پیدا کرده و بعد دچار شکست می‌شود. وقتی نیروی اعمال شده از مقاومت خاک فزونـی مـی‌یابـد خاک ناگهان تسلیم شده و فرو می‌ریزد.

مقاومت خاک‌های چسبنده درصورتی‌که مواد خیلی مرطوب بوده ومنافذ تقریباً از آب پر باشند بـه‌طـور شـدیدی کـاهش مـی‌یابـد در اینصورت ذرات خاک از یکدیگر جدا شده، به‌طوری‌که نه جزء چسبنده و نه جزء اصطکاکی خیلی قوی بوده و سبب می‌شود خـاک دچـار شکست شده و درنتیجه مصیبت‌هایی همانند لغزش گل که در شکل ۳۸-٤ نشان داده شده است، به بار آید. از طرف دیگر اگـر خـاک‌هـای چسبنده خشک شده و بیشتر متراکم شوند، مقاومت آن‌ها در اثر تماس نزدیک ذرات با هم افزایش می‌یابد، نتیجه‌ای کـه دارای کاربردهـای زیادی برای رشد ریشه گیاه و همین‌طور موارد مهندسی می‌باشد.(بخش ۵-٤ را مشاهده کنید).

خاک‌های غیرچسبنده : مقاومت خاک‌های خشک غیرچسبنده مانند شن کلاً وابسته به نیروهای اصطکاکی از جملـه در هـم قفـل‌شـدن سطوح ناهموار مواد دارد. مقاومت مواد غیرچسبنده در زاویه خواب آن‌ها[8]، تندترین زاویه‌ای که آن‌ها بدون ریزش می‌توانند روی هـم تـل انبار شوند، تجلی می‌یابد. شن‌های صاف گرد نمی‌توانند همانند شن‌های ناهموار در هم قفل شده روی هم تل انبار شوند. اگر اندکی آب بین ذرات پل ایجاد کنند جذب الکتریسیته ساکن آب و سطوح جامدات سبب افزایش مقاومت خاک خواهد شد. پل بین ذرات توضیح می‌دهـد که چگونه خودروهایی که در کنار یک ساحل وقتی شن مرطوب است می‌توانند حرکت کنند اما چرخ آن‌ها در شن‌های سست خشک و یـا در شن‌های اشباع روان[9] فرو می‌رود و قادر به حرکت نمی‌باشد.

---

1 - Loose
2 - Soft
3 - Very friable
4 - Noncemented
5 - Slightly hard
6 - Firm
7 - Unconfined Compression test
8 - Angle of repose
9 - Quick sand



شکل ۳۷-٤ دو آزمون مهم برای تعیین ویژگی‌های مهندسی مواد خاکی، (الف) تراکم غیرمحبوس برای تعیین مقاومت خاک (ب) آزمون پروکتور برای تعیین حداکثر چگالی و میزان آب بهینه برای تنظیم تراکم



شکل ۳۸-٤ خانه‌ها در اثر لغزش گل که در اثر اشباع خاک‌های یک دامنه تپه به‌دنبال یک دوره بارندگی شدید در اورگن دچار خسارت شده‌اند. وزن خاک خیس از مقاومت برشی آن فراتر رفته و سبب لغزش شیب شده است. حفاری‌ها برای جاده‌سازی و ابنیه نزدیک دامنه‌ی شیب می‌توانند به ناپایداری دامنه کمک کند و همین‌طور برداشت ریشه گیاهان براثر جنگل تراشی سنگین در روی شیب می‌توانند همین نتایج را داشته باشد.

خاک‌های وارونده[1]: خاک‌های خاص که مقاومت قابل‌ملاحظه‌ای با آب کم موجود در خود نشان می‌دهند در صورت مرطوب‌شدن ناگهان مقاومت خود را از دست می‌دهند . این خاک‌ها بدون هر نوع اخطار قبلی در زیر پی ساختمان و یا جاده فرو می‌ریزند. یک حالت خاص از فرو پاشی تیکسوتروپی[2] است که عبارت است از سیلان ناگهانی یک خاک مرطوب در اثر لرزش‌های که عمدتاً با زلزله و انفجار همراه می‌باشد.

اکثر خاک‌های وارونده از مواد غیرچسبنده تشکیل شده که در آن‌ها دانه‌های شن با تراکم سست به‌وسیله‌ی مقدار کمی گچ، رس و یا آب در تحت تنش درنقاط محل تماس خود سیمانی شده‌اند این خاک‌ها معمولاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارند که در آن‌ها این مواد سیمانی‌کننده نسبتاً پایدار می‌باشند. بسیاری از خاک‌های وارونده تنظیم ذرات متخلخل خود را براثر ته‌نشینی در زیر آب‌های قدیمی و یا کنونی به‌دست‌آورده‌اند. وقتی این خاک‌ها خیس می‌شوند آب اضافی ممکن‌است سبب حل‌شدن مواد شیمیایی مانند گچ ویا پراکنده‌گی رس‌هایی گردد که پل بین ذرات را تشکیل می‌داده‌اند، و درنتیجه سبب کاهش سریع مقاومت گردد. در بعضی موارد رفتار مشابهی در اکسی‌سول‌های خیلی هوادیده در مناطق مرطوب گرمسیر مشاهده می‌شود. هرچند از آن‌جاکه رس‌های قابل‌انتشار، و یا سیمان‌های قابل‌حل،

---
1 - Collapsible soil
2 - Thixotropy

در آب وجود ندارد سازوکار فروپاشی در این خاک‌ها هنوز روشن نیست. درهرحال، یک مهندس ... ک مایل است از وجود چنین خاک‌هایی مطلع گردد.

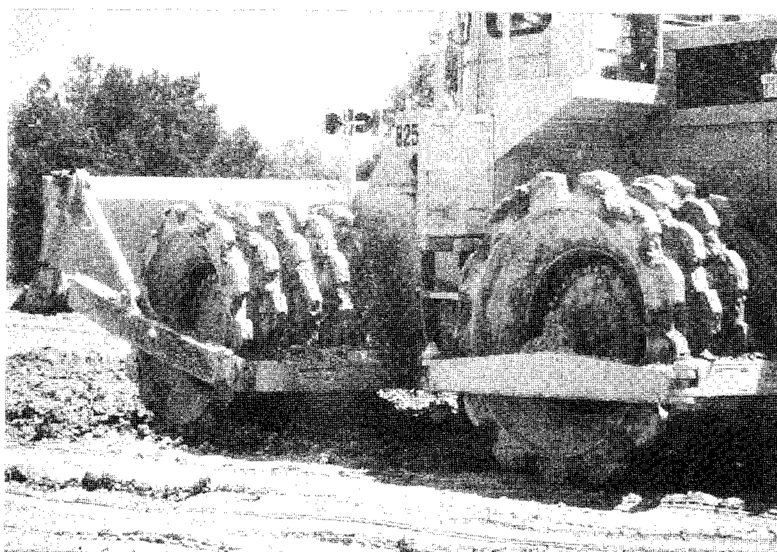
نشست[1]ـ تراکم تدریجی

درحالی‌که پشته‌های خاکی و شیب‌های تند معمولاً به‌دلیل تنش‌هایی که از مقاومت خاک فراتر است دچار شکست میگردند. به‌نظر می‌رسد اکثر ساختمان‌ها و جاده‌ها بارهایی را اعمال کنند که سبب گسسته‌شدن خاک گردند. در عوض، اکثر مسایل پی ساختمان‌ها درنتیجه‌ی فرو نشست عمودی اغلب غیریکنواخت آرام، ویا نشست خاک حاصل می‌شود.

تنظیم تراکم : از نظررشد نباتات، از تراکم خاک باید اجتناب کرد. هرچند خاک‌ها قبل از استفاده برای جاده‌سازی یا ایجاد پی ساختمان باید عمداً مورد تراکم قرار گیرند تا تراکم حاصل براثر بارهای سنگین بعدها، سبب نشست غیریکنواخت و ترک‌برداشتن پیاده‌روها و پی ساختمان‌ها نگردد. تراکم تا رسیدن به چگالی بهینه معمولاً در خاک‌های رسی با زدن غلطک‌های پاچه‌بزی، که خاک را همانند یک گلوله خمیر نانوایی ورز می‌دهد، به‌دست می‌آید (شکل ۳۹-٤). در خاک‌های شنی غلطک‌های لرزان و یا چکش‌های کوبنده بهتر عمل می‌کنند، زیرا آن‌ها می‌توانند ذرات را با ارتعاش به‌صورت یک توده متراکم درآورند. (شکل ۱۷-٤ را مشاهده کنید).

وقتی باری بر روی بعضی از ذرات خاک مانند رس‌های سیلیکاتی کلوییدی خاص و میکاها در تمام اندازه‌ها گذاشته شود، آن‌ها را متراکم می‌کند. وقتی بار، برداشته شود این ذرات تمایل دارند که شکل اولیه خود را مجدداً به‌دست آورده و برعکس تراکم عمل کنند. درنتیجه خاک‌های غنی از این ذرات به آسانی برای ایجاد پی ساختمان‌ها و جاده‌ها تراکم نمی‌یابند.

آزمایش پروکتور[2] معمول‌ترین روش برای کسب اطلاعاتی ست که می‌تواند اقدام لازم برای تنظیم تراکم را قبل از ایجاد ساختمان هدایت کند. به یک نمونه خاک تا کسب میزان رطوبت لازم آب اضافه می‌شود و در یک محفظه به‌وسیله‌ی یک چکش افتان (با وزن ۲/۵ کیلوگرم در آزمایش استاندارد پروکتور) مورد تراکم قرار می‌گیرد. سپس چگالی ظاهری (معمولاً مهندسین آنرا چگالی خشک می‌نامند) اندازه‌گیری می‌شود. این فرایند چندین بار با افزایش میزان آب تکرار می‌شود. تا این‌که اطلاعات کافی برای تولید یک منحنی پروکتور فراهم گردد، همانند آن‌چه که در شکل ۳۷-٤ ب آمده است. منحنی بیانگر حداکثر چگالی ظاهری است که خاک ممکن‌است براثر یک نیروی مشخص تحت تراکم درآید با همین اهمیت، آزمایش تعیین‌کننده مقدارآب بهینه موجود درخاک برای ایجاد حداکثر تراکم می‌باشد. وقتی خاک از این حد مرطوب‌تر و یا خشک‌تر باشد تراکم آن بسیار مشکل‌تر خواهد بود. در محل ایجاد سازه در صورت نیاز مخزن‌های حمل آب مورد استفاده قرار می‌گیرند تا آب خاک را به حد رطوبت بهینه برسانند و ادوات تراکم مانند آن‌چه در شکل ۳۹-٤ نشان داده شده است برای به‌دست‌آوردن تراکم مطلوب مورد استفاده قرار گیرند.



شکل ۳۹-٤ تراکم خاک‌های مورد استفاده برای پی و بستر جاده‌ها به‌وسیله‌ی ادوات سنگین مانند این غلطک پاچه بزی انجام می‌شود. برآمدگی‌ها (پاچه‌بزی) جرم را بر روی سطح برخورد کوچکی متمرکز می‌سازد و سبب فشردن و ورزدادن خاک سست تازه صاف شده تا کسب یک چگالی بهینه می‌باشد

1 - Settlement
2 - Proctor test

تراکم پذیری : آزمایش تحکیم[1] را می‌توان بر روی نمونه خاک برای تعیین تراکم پذیری[2] خاک انجام داد و این به این معنی است چه مقدار از حجم آن با اعمال یک نیروی خاص کاهش می‌یابد. به‌خاطر تخلخل کم و شکل ذرات معدنی با ابعاد یکسان، خاک‌های خیلی شنی پس از جایگیری در یک ترتیب نزدیک به‌هم کمتر مورد تراکم قرار می‌گیرند. این مواد خاک‌های بسیار عالی را برای پی ساختمان تشکیل می‌دهند. تخلخل بالای ذرات رس و شکل پوسته‌پوسته‌ای ذرات رسی تراکم‌پذیری بسیار زیادی را در آن‌ها ایجاد می‌کند. خاک‌هایی که عمدتاً از مواد آلی تشکیل شده‌اند (پیت) دارای حداکثر تراکم پذیری بوده و معمولاً برای پی ساختمان مناسب نمی‌باشند.

تراکم خاک‌های رسی مرطوب در مزرعه به‌دنبال بارگذاری (ایجاد یک ساختمان) بسیار آهسته صورت می‌گیرد زیرا تراکم وقتی تحقق می‌یابد که آب هرچه سریع‌تر بتواند از منافذ خاک فرار کند، در منافذ ریز مواد رسی این عمل خیلی سریع انجام نمی‌شود. شاید مشهورترین نمونه از تحکیم غیریکنواخت به‌خاطر تراکم کند، برج کج پیزا در ایتالیا است. متأسفانه اکثر تحکیم‌های غیریکنواخت به گردشگری نیانجامیده و منتهی به دردسر می‌شوند.

خاک‌های انبساط‌پذیر

خسارت ناشی از خاک‌های انبساط‌پذیر در ایالات متحده به‌ندرت در اخبار روزنامه‌های عصر می‌آید، گرچه هزینه‌ی کل سالانه از آن‌چه به‌وسیله‌ی گردباد، سیل، زلزله و یا هر نوع مصیبت طبیعی دیگر به‌بار می‌آید بالاتر می‌باشد. رس‌های انبساط‌پذیر در ۲۰ درصد سطح کشور آمریکا وجود داشته و بالاتر از ٤ میلیارد دلار سالانه خسارت در جاده‌ها، ساختمان‌ها و خطوط انتقال آب و برق و گاز به‌بار می‌آورند. خسارت در بعضی نقاط کشور می‌تواند شدید باشد، اما در مناطقی که دوره‌های خشک طولانی به‌دنبال دوره‌های بارندگی (کالیفرنیا، تگزاس و یومنیک وکلرادو) دارند، بسیار گسترده‌تر می‌باشد.

بعضی ار رس‌ها، به‌خصوص رس‌های اسمکتیت، وقتی مرطوب هستند انبساط یافته و وقتی خشک هستند انقباض می‌یابند(بخش ۵-۸ را مشاهده کنید). خاک‌های انبساط‌پذیر از این رس‌ها غنی می‌باشند. بارهای الکتریسیته ساکن برروی رس مولکول‌های آب از منافذ درشت‌تر را به‌داخل فضای بین ورقه‌های رس جذب می‌کند. همچنین کاتیون‌های جذب شده همراه با سطوح رس تمایل دارند که آبگیری کنند و آب اضافی را به‌داخل رس بکشانند. آب ورقه‌های رس را جدا کرده و سبب انبساط حجم توده‌ی خاک می‌گردد. عکس این فرایند وقتی خاک خشک شده و آب از لایه‌های رسی خارج می‌گردد صورت گرفته و سبب انقباض و ترک‌برداشتن خاک می‌شود. بعد از یک فصل خشک طولانی، خاک‌های غنی از رس اسمکتیت را می‌توان به‌وسیله‌ی حالت متقاطع ترک‌های عریض عمیق (شکل ٤٠-٤) تشخیص داد. انبساط و انقباض سبب حرکت کافی خاک و ترک‌برداشتن پی ساختمان‌ها، خردشدن خطوط لوله و برآمدگی پیاده‌روها گردد.



شکل ٤٠-٤ انواع خاصی از رس‌ها، به‌ویژه اسمکتیت دچار تغییرات شدیدی در حجم همراه با تغییر در میزان آب می‌شوند دراین عکس یک خاک انبساط یافته و سبب ایجاد شبکه‌ای از ترک‌های بزرگ که در سطح خاک باز شده‌اند، گردیده است

[1] - Consolidation test
[2] - Compressibility

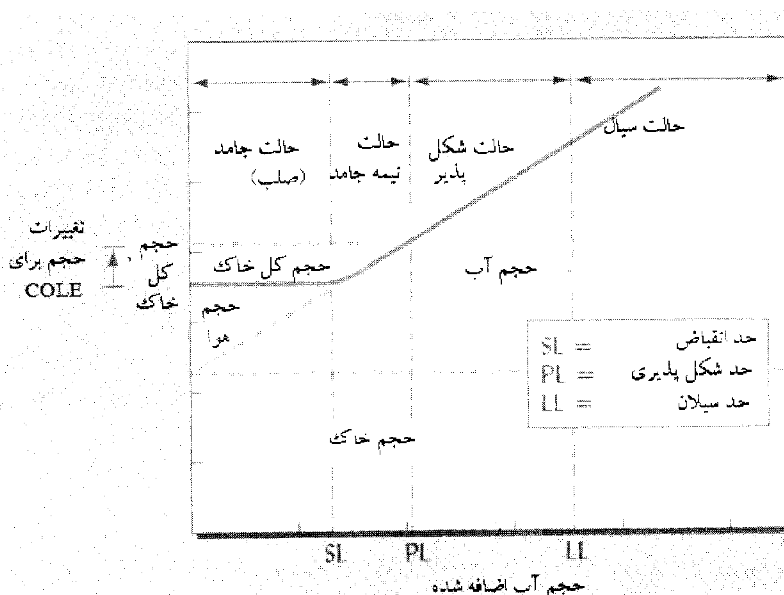
حدود اتربرگ[1]

وقتی یک خاک خشک رسی مقادیر رو به افزایش آب را دریافت می‌دارد، دچار تغییرات شگفت‌انگیزی در رفتار و استحکام مـی‌گـردد. جسم جامد صلب سخت در حالت خشک، هنگامی که به یک مقدار مشخص رطوبت می‌رسد (حد انقباض[2]) به‌حالت نیمه‌جامد تـرد خـرد شونده[3] در می‌آید. اگر خاک دارای رس‌های انبساط‌پذیر باشد، باافزایش میزان آب شروع به انبساط حجم می‌کند. با افزایش میزان آب بیشتر از حد شکل‌پذیری[4] سبب تغییر خاک به یک حالت قابل انعطاف[5] شکل‌پذیر گردیده، و خاک، انبساط بیشتری خواهد یافـت. خـاک در ایـن حالت شکل‌پذیر باقی مانده تا این‌که میزان آب از حد سیلان[6] بیشتر شده و سبب تغییرشکل خاک به مایع سیال گردد، که درصورت ارتعاش جریان خواهد یافت. به این میزان آب بحرانی (بر حسب درصد وزنی خاک خشک) به‌خاطر اتربرگ مهندس آلمانی که این نظـام را ابـداع کرد واژه‌ی حدود اتربرگ اطلاق می‌شود. مهندسین خاک حدود اتربرگ را به‌عنوان بخشی از تحقیقات خود درمورد پایداری خـاک تعیـین می‌کنند تا در برآورد رفتار خاک‌های به‌ویژه، و تناسب آب‌ها برای مقاصد مختلف ساختمانی، کمک کند.

نمایه شکل‌پذیری[7] : نمایه شکل‌پذیری (PI) تفاوت بین حد پلاستیک (PL) و حد سیلان (LL) خاک‌ها بوده و مشخص‌کننده‌ی دامنـه‌ی میزان آب است که در آن خاک دارای خصوصیات شکل‌پذیری می‌باشد. **PI = LL-PL**

خاک‌هایی با نمایه شکل‌پذیری بالا (بیشتر از ۲۵ درصد) معمولاً از رس‌های متورم شونده تشکیل شده‌انـد کـه سـبب ایجـاد بـسترهای جاده‌سازی و یا ساختمانی ضعیف می‌گردند. شکل ٤۱-٤ رابطه‌ی بین حدود اتربرگ را با تغییرات در حجم خاک که همراه با افزایش میزان آب برای یک خاک فرضی است نشان می‌دهد.

رس‌های اسمکتیت (بخش ۵-۸ را مشاهده کنید) معمولاً دارای حد سیلان و نمایه شکل‌پذیری بالایی می‌باشند، به‌خصوص اگر با سـدیم اشباع شده باشند. حد سیلان رس کائولینیت و سایر رس‌های غیرمتورم‌شونده پایین است. حدود شکل‌پذیری و سیلان چند خاک و سه نـوع نمونه رس در جدول ۱۱-٤ نشان داده شده است.



شکل ٤۱-٤ تجسم کلی از حدود اتربرگ که تغییرات در رفتار یک خاک چسبنده را با تغییرات میزان آب آن مشخص می‌سازد(از سمت چپ به راست) به‌محض افزودن آب به یک حجم مشخص خاک خشک، اول هوا جابه‌جا می‌شود، سپس اگر آب بیشتر اضافه شود حجم کل خاک (اگر خاک خصوصیات انبساط‌پذیری داشته باشد) افزایش می‌یابد. وقتی به حد انقباض می‌رسیم (SL)، خاک صلب سخت جامد به یک توده‌ی ترد نیمه‌جامد تبدیل می‌شود. با آب بیشتر به حد پلاستیک (PL) می‌رسیم که از آن به‌بعد خاک شکل‌پذیر گردیده و می‌تواند به قالب‌های خاص درآید. خاک در این مرحله شکل‌پذیر در دامنه‌ی وسیعی از رطوبت باقی می‌ماند تا به حد سیلان (LL) می‌رسیم که در این حالت همانند یک مایع گرانرو (سیال) عمل می‌کند که با تکان‌دادن به حرکت در می‌آید. تغییر حجم برای محاسبه ضریب انبساط خطیCOLE در سمت چپ شکل نشان داده شده است.

---

1 - Atterberg limits
2 - Shrinkage limit
3 - Crumbly (friable)
4 - Plastic limit
5 - Malleable
6 - Liquid limit
7 - Plasticity index

جدول ۱۱-٤ حدود شکل‌پذیری و سیلان خاک‌های مختلف و رس اسمکتیت اشباع از کلسیم و سدیم

خاک‌های رسی با مقادیر زیادی از رس اسمکتیت (ساسکوهانا و بشاو)دارای حد سیلان بالایی می‌باشند، رس‌های اشباع از سدیم نیز چنین می‌باشند.

خاک	محل	حد شکل‌پذیر	حد سیلان	نمایه شکل‌پذیری
داوید سون (یودولت)	جورجیا	۱۹	۲۷	۸
سیسیل (یودولت)	جورجیا	۲۹	٤۹	۲۰
پوتنام (اکوالف)	جورجیا	۲٤	۳۷	۱۳
ساسکوهانا(یودالف)	جورجیا	۲۹	۵۷	۲۸
اسلیپ راک (یودپت)	جورجیا	٤٦	۵۹	۱۳
جوری(یودولت)	اورگن	۳۰	٤۵	۱۵
بشاو (زررت)	اورگن	۱۸	۷۱	۵۳
رس اسمکتیت اشباع از سدیم	---	---	۹۵۰	---
رس اسمکتیت اشباع از کلسیم	---	---	۳٦۰	---
کائولنیت اشباع از سدیم	---	---	۳٦	---

ضریب انبساط خطی[1]: انبساط‌پذیری یک خاک (بنابراین خطر تخریب پی‌ها و جاده‌ها) می‌توانند به‌طور کمی به‌صورت ضریب انبساط خطی، اندازه‌گیری شود. فرض کنید که یک نمونه خاک تا حد ضریب شکل‌پذیری (PL) مرطوب شده باشد و به شکل یک میله با طول LM در آید. اگر میله‌ی خاک هوا خشک شود، به طول LD انقباض خواهد یافت. ضریب انبساط طولی عبارتست از درصد کاهش طول میله خاک در اثرانقباض می‌باشد.

$$COLE = \frac{LM - LD}{LM} \times 100$$

شکل ٤۱-٤ مشخص می‌سازد که چگونه تغییرات حجم برای محاسبه COLE با حدود اتربرگ ارتباط دارد.

نظام یکسان طبقه‌بندی مصالح خاکی[2]

مهندسین نظامی ارتش آمریکا و اداره بازسازی اراضی آمریکا یک نظام طبقه‌بندی خاک را که بسیار مورد استفاده است به‌منظور برآورد رفتار مهندسی خاک‌های مختلف ایجاد کرده‌اند. به هر نوع خاک دو حرف معرف، عمدتاً بر اساس توزیع اندازه‌ی ذرات آن (بافت)، حدود اتربرگ و میزان ماده‌ی آلی اختصاص یافته است (شکل۴۲-٤).

این نظام ابتدا خاک را بر اساس خاک‌های دانه درشت (بیشتر از ۵۰ درصد بر روی الک ۰/۰۷۵ میلی‌متر باقی بماند) و دانه‌ریز (نصف ذرات کوچک‌تر از ۰/۰۷۵ میلی‌متر) تقسیم‌بندی می‌کند. مواد دانه‌درشت بر اساس اندازه‌ی ذرات (سنگ‌ریزه و شن)، مقدار ذرات ریز موجود و یکنواختی اندازه‌ی ذرات (دانه‌بندی خوب و یا ضعیف) تقسیم‌بندی، و مواد دانه‌ریز به لای، رس و مواد آلی تفکیک می‌شوند. این طبقات خود براساس حد سیلان (بالاتر یا پایین‌تر از ۵۰) و نمایه شکل‌پذیری به زیر طبقات بیشتری تقسیم‌بندی می‌شوند.

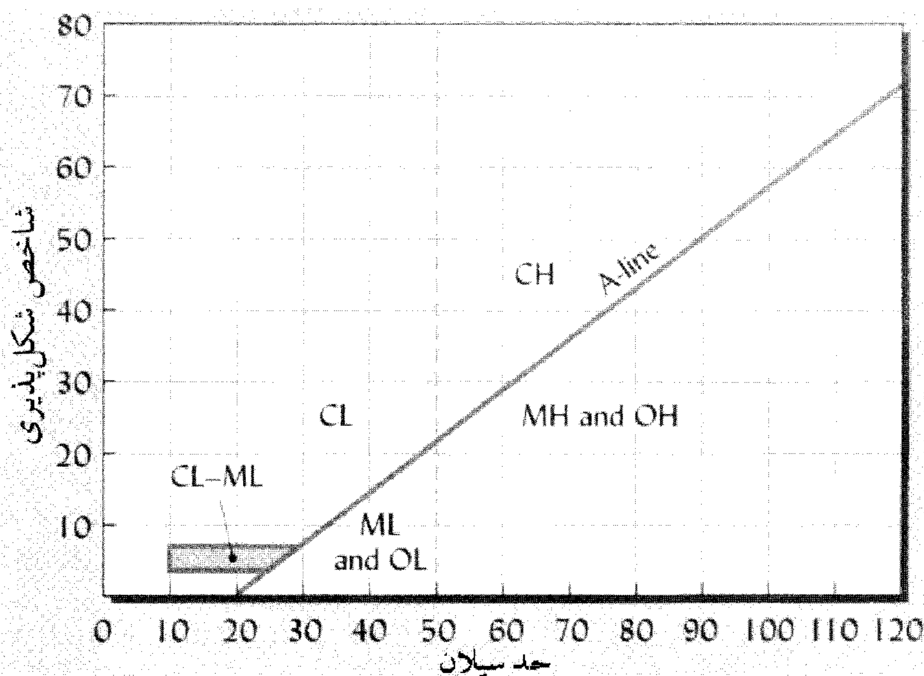
این طبقه‌بندی مواد خاکی به مهندسین کمک می‌کند که مقاومت خاک، انبساط، تراکم‌پذیری و سایر ویژگی‌های آن را برآورد نموده و طرح‌های مهندسی مناسبی را برای خاک‌های موجود ارائه دهند.

---

[1] - Coeficient Of Linear Extensibilily (COLE)

[2] - Unified Classification System for soil Materials

تقسیم‌بندی عمده			علامت گروه	نام شاخص
خاک‌های دانه درشت بیشتر از ۵۰ درصد بر روی الک نمره ۲۰۰ چشمه باقی می‌ماند	سنگریزه با ۵۰ درصد و بیشتر از مواد دانه درشت که بر روی الک ٤ چشمه باقی‌می‌ماند	سنگ‌ریزه یکدست	GW	سنگ‌ریزه خوب دانه‌بندی‌شده و مخلوط سنگ‌ریزه و شن بدون ویا با کمی مواد دانه‌ریز
			GP	سنگ‌ریزه با دانه‌بندی ضعیف و مخلوط سنگ‌ریزه و شن بدون ویا با کمی مواد دانه‌ریز
		سنگ‌ریزه همراه با مواد ریز	GM	سنگ‌ریزه لای‌دار و مخلوط سنگ‌ریزه شن و لای
			GC	سنگ‌ریزه رس‌دار و مخلوط سنگ‌ریزه و شن و رس
	شن بیشتر از ۵۰ درصد مواد دانه درشت که از الک ٤ چشمه می‌گذرد	شن یک‌دست	SW	شن‌های خوب دانه‌بندی شده و شن‌های سنگ‌ریزه‌دار بدون ویا با کمی مواد دانه‌ریز
			SP	شن‌ها با دانه‌بندی ضعیف و مخلوط سنگ‌ریزه و شن بدون ویا با کمی مواد دانه‌ریز
		شن با مواد ریز	SM	شن‌های لای‌دار و مخلوط شن و لای
			SC	شن‌های رس‌دار و مخلوط شن و رس
خاک‌های دانه ریز ۵۰ درصد و بیشتر از الک ۲۰۰ چشمه می‌گذرد	لای و رس حد سیلان ۵۰ درصد و کمتر		ML	لای غیرآلی، شن‌های خیلی ریز، آرد سنگ، شن ریز لای‌دار و یا رس‌دار
			CL	رس غیرآلی با شکل‌پذیری کم تا متوسط، رس‌های سنگریزه دار، رس‌های شنی، رس‌های سیلتی و رس‌های لاغر (بدون انبساط)
			OL	لای آلی و رس لای‌دار آلی با شکل‌پذیری کم
	لای‌ها و رس‌های با حد سیلان بیشتر از ۵۰ درصد		MH	لای غیرآلی، شن ریز و لای میکادار و یا دیاتومه. رس شکل‌پذیر
			CH	رس غیرآلی، شکل‌پذیری زیاد، رس چاق(با انبساط)
			OH	رس آلی با شکل‌پذیری متوسط تا زیاد
خاک‌های آلی			Pt	پیت، ماک و سایر خاک‌های آلی



شکل ٤۲-٤ : نظام یکنواخت طبقه‌بندی. توجه کنید که این نظام مواد خاکی (نه خاک‌های طبیعی) را طبقه‌بندی می‌کند دو حرف معرف (MH , SW و غیره) به مهندسین کمک می‌کند که رفتار خاک را هنگامی که برای کارهای ساختمانی به‌کار می‌رود، برآورد کنند. حرف اول یکی از مواد G سنگ‌ریزه، S شن، M لای، C رس و O مواد غنی از ماده‌ی آلی بوده، و حرف دوم مشخص می‌سازد که آیا شن و سنگریزه دارای دانه‌بندی خوب (W) و یا ضعیف (P) هستند، و یا لای و رس و مواد آلی دارای نمایه شکل‌پذیری بالا(H) و یا پایین(L) می‌باشند. درمواد دانه‌ریز، آن‌هایی که نزدیک‌تر به بالای جدول هستند برای ساختمان و جاده تناسب بهتری دارند.

۱۰-۴ نتیجه‌گیری

خصوصیات فیزیکی اثر بارزی بر رفتار خاک‌ها در ارتباط با رشد گیاه، آبشناسی، مدیریت محیط زیست و استفاده‌های مهندسی دارد. سرشت و خصوصیات ذرات انفرادی، توزیع اندازه‌ی آن‌ها و طرز قرارگرفتن آن‌ها در خاک، حجم کل فضای ذرات غیرجامد، و همین‌طور اندازه منافذ را مشخص می‌سازد و بنابراین در روابط آب‌وهوا تأثیرگذار است.

ویژگی‌های ذرات انفرادی و توزیع نسبی آن‌ها (بافت خاک) در خاک‌های صحرایی کمتر تحت دخالت انسان است اگر چه می‌توان مقداری مدیریت بر روی طرز تنظیم این ذرات به‌شکل خاکدانه‌ها (ساختمان خاک) و پایداری خاکدانه‌ها اعمال کرد. عملیات خاک‌ورزی و حمل‌ونقل باید برای اجتناب از ایجاد خسارت در شخم‌آیی به‌خصوص در هنگامی‌که خاک نسبتاً خیس است به‌دقت تنظیم گردد. معمولاً طبیعت مواظبت خوبی از ساختمان خاک به‌عمل آورده و انسان‌ها با مطالعه‌ی سامانه‌های طبیعی بیشتر می‌توانند درمورد مدیریت خاک بیاموزند. رشد قوی و تنوع نبات، برگشت پس‌مانده‌های گیاهی و حداقل به‌هم‌خوردن فیزیکی از برکات نظام‌های طبیعی هستند که ارزش هم‌چشمی و رقابت را دارند. انتخاب گونه‌های مناسب نباتات، تناوب گیاهان و مدیریت عوامل شیمیایی، فیزیکی و زیستی حفظ کیفیت فیزکی خاک را تضمین می‌کند. در سال‌های اخیر این اهداف مدیریتی با ابداع نظام‌های خاک‌ورزی حفاظتی که دستکاری خاک را در عین کاهش فرسایش و رواناب به‌حداقل می‌رساند، عملی شده است.

اندازه‌ی ذرات، میزان رطوبت و شکل‌پذیری بخش کلوییدی برای تعیین پایداری خاک در مقابل نیروهای بارگذاری ناشی از حمل و نقل، خاک‌ورزی و یا پی ساختمانی به ما کمک می‌کنند. ویژگی‌های فیزیکی ارائه شده در این فصل تقریباً بر تمام دیگر خصوصیات و موارد استفاده خاک که در سرتاسر کتاب مورد بحث قرار گرفته است بسیار تأثیرگذار است.

سووالات برای مطالعه

۱- اگر شما در جستجوی محلی برای توسعه‌ی خانه‌سازی باشید چگونه از رنگ خاک برای برآورد مسایلی که ممکن‌است با آن مواجه شویم استفاده می‌کنید؟

۲- شما درفکر خرید بعضی مزارع در منطقه‌ای با خاک‌های دارای بافت متفاوت می‌باشید. خاک‌ها در روی یک مزرعه عمدتاً لوم شنی و شن لومی بوده درحالی‌که در مزرعه دوم عمدتاً از لوم رسی و رس لومی می‌باشد. مزایا و معایب هرکدام از مزارع را با توجه به بافت خاک آن‌ها نام ببرید.

۳- با توجه به جواب شما در پرسش (۲) شرح دهید که چگونه ساختمان در افق‌های خاک سطحی و زیرزمینی می‌تواند عقیده‌ی شما را در مورد ارزش هر مزرعه تغییر دهد؟

٤- دو روش برداشت جنگل در کرت‌های هم‌جوار جنگلی با خاک لوم رسی سطحی مورد آزمون قرار گرفته است، وزن مخصوص ظاهری اولیه در هر دو کرت ۱/۱ مگاگرم در مترمکعب بوده است. یک‌سال بعد از عملیات برداشت، خاک کرت A دارای وزن مخصوص ظاهری ۱/٤۸ مگاگرم در مترمکعب است درصورتی‌که در کرت B ۱/۲۹ مگاگرم در مترمکعب است این دو رقم را در ارتباط با ارزش دو نظام AوB و اثرات احتمالی بر روی نقش خاک در نظام جنگل تفسیر کنند.

۵- کلاس بافت دو خاک که یکی دارای ۱۵٪ رس و ٤۵٪ سیلت و دیگری دارای ۸۰٪ رس و ۱۰٪ رس است چه می‌باشد؟ از شکل ۸-٤ استفاده کنید.

٦- برای کرت جنگلی در پرسش شماره ٤ تغییر در درصد منافذ خاک‌های سطحی در اثر برداشت الوار چقدر می‌باشد، آیا انتظار دارید که بیشترین تغییر در منافذ درشت باشد و یا ریز؟ توضیح دهید.

۷- اثرات مثبت و منفی خاک‌ورزی را بر ساختمان خاک تشریح کنید. ملاحظات فیزیکی دیگری که باید در تصمیم‌گیری برای تغییر خاک‌ورزی معمول به خاک‌ورزی حفاظتی مورد نظر قرار دهید چه می‌باشد؟

۸- شما به‌عنوان یک باغبان سه عامل را در مدیریت ساختمان خاک باغچه خود بهترین و بدترین می‌دانید را نام ببرید.

۹- آزمایش پروکتور چه چیزی از خاک را به مهندس خاک می‌گوید، چرا این اطلاعات مهم می‌باشد؟

۱۰- دریک منطقه مرطوب که دارای خاک‌های منبسط شونده است، صاحب منزل با شکستن لوله‌های آب، بسته‌شدن درب‌ها و ترک‌های عریض قایم در آجر دیوارها مواجه است، منزل در مدت ۲۰ سال با مسأله‌ای مواجه نشده است. متخصص خاک‌شناسی مورد مشورت مسأله را مربوط به کشت درخت بزرگی در نزدیک منزل در ۱۰ سال گذشته می‌داند. توضیح دهید.

وقتی زمینی بخواهد، باران را با هر سرعتی
جذ کند

H.D.Thoreau

فصل پنجم

آب خاک، ویژگی‌ها و رفتار

آب از اجزا حیاتی هر موجود زنده است، گرچه آب یکی از ساده‌ترین مواد شیمیایی طبیعت به‌شمار می‌رود، دارای خصوصیاتی منحصربه‌فرد است که موجب انجام انواع فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی گوناگون می‌شود. این فرایندها تأثیر بزرگی تقریباً در هر جنبه‌ی تکامل و رفتار خاک، از هوادیدگی کانی‌ها تا تجزیه‌ی ماده‌ی آلی و از رشد گیاهان تا آلودگی آب زیرزمینی خواهد داشت.

ما همگی با آب آشناییم. از آن می‌نوشیم، در آن شنا می‌کنم و کشت‌های خود را با آن آبیاری می‌کنیم. اما آب در خاک چیزی کاملاً متفاوت از آب آشامیدنی در یک لیوان است. در خاک، آب در ارتباط نزدیک با ذرات جامد، به‌خصوص در اندازه کلوییدی می‌باشد تعامل بین آب و ذرات جامد خاک رفتار هر دو را عوض می‌کند.

آب سبب می‌شود که ذرات خاک انبساط و انقباض یافته، به‌همدیگر بچسبند و خاکدانه‌های ساختمانی را تشکیل دهند.آب در واکنش‌های شیمیایی بی‌شماری شرکت می‌کند که سبب آزاد و یا محبوس‌شدن عناصر غذایی، ایجاد اسیدیته، تخریب کانی‌ها شده به‌طوری‌که عناصر آن‌ها نهایتاً سبب شورشدن آب اقیانوس‌ها می‌شود.

کشش سطوح جامدات حرکت آزاد مولکول‌های آب را محدود کرده وسبب می‌گردد آب به‌جای مایع بسیار شبیه مواد جامد رفتار کند. در خاک، آب می‌تواند به‌خوبی به‌طرف بالا و یا پایین حرکت کند. گیاهان ممکن‌است در خاکی که دارای یک میلیون کیلوگرم آب در هکتار باشد پژمرده شده و بمیرند. یک لایه شن و سنگ‌ریزه در خاکرخ ممکن‌است از زه‌کشی سبب گردد لایه‌های بالایی در اکثر طول سال خیس و اشباع بماند. به‌نظر می‌رسد این موارد و دیگر پدیده‌های آب خاک با بصیرت ما درباره‌ی چندوچون رفتار آب درتعارض باشد.

تعامل خاک و آب در بسیاری از رفتارهای بوم‌شناختی خاک، و عملیات مدیریت آن تأثیرگذار است. این تعامل مشخص می‌کند که چه مقدار آب باران وارد خاک شده و از داخل آن عبور کرده، و چه مقدار به صورت رواناب در سطح جاری می‌شود. تنظیم این فرایندها به‌نوبه‌ی خود حرکت مواد شیمیایی را به آب زیرزمینی و حرکت مواد شیمیایی و ذرات خاک فرسایش یافته را به دریاچه‌ها و رودخانه‌ها مشخص می‌کند. تعاملات در میزان هدررفت آب از طریق آبشویی و تبخیروتعرق، تعادل بین آب‌وهوا در منافذ، اندازه تغییر دما میزان و نوع سوخت‌وساز جانداران خاک و ظرفیت خاک برای ذخیره و فراهم‌کردن آب جهت رشد نبات مؤثر می‌باشد.

ویژگی‌ها و رفتار آب در خاک رشته‌ای است که تقریباً هر فصل از این کتاب را با همدیگر مرتبط می‌کند. اصولی که در این فصل موجودند به‌ما کمک می‌کنند که درک کنیم چرا لغزش گل در خاک‌های اشباع از آب صورت می‌گیرد. (فصل ٤)، چرا کرم‌های خاکی سبب بهبود کیفیت خاک می‌شوند (فصل ۱۱)، چرا شالیزارها سبب تخلیه اُزُن نیوار خواهدشد (فصل۱۳)، و چرا قحطی در بخش‌های خاصی از جهان هنوز مخفیانه بشر را دنبال می‌کند. (فصل ۲) تبحر در اصول بیان شده این فصل برای کسب دانش عملی در مورد نظام خاک اساسی می‌باشد.

۱-۵ ساختار و خصوصیات مرتبط با آب

توانایی آب در تأثیر بر بسیاری از فرایندهای خاک، عمدتاً به‌وسیله‌ی ساختار مولکول آب تعیین می‌شود. این ساختار همچنین پاسخگوی این واقعیت است که آب در دمای موجود در کره‌ی زمین یک مایع است و یک گاز نیست، آب به‌استثنای جیوه تنها مایع معدنی (ناشی از کربن نیست) موجود بر روی کره‌ی زمین است. آب یک ترکیب ساده است که مولکول آن از یک اتم اکسیژن و دو اتم بسیار کوچک هیدروژن تشکیل شده است. این عناصر با پیوند کووالانس با هم پیوند یافته‌اند؛ هر اتم هیدروژن تنها الکترون خود را با اتم اکسیژن به مشارکت گذاشته است.

قطبی‌بودن

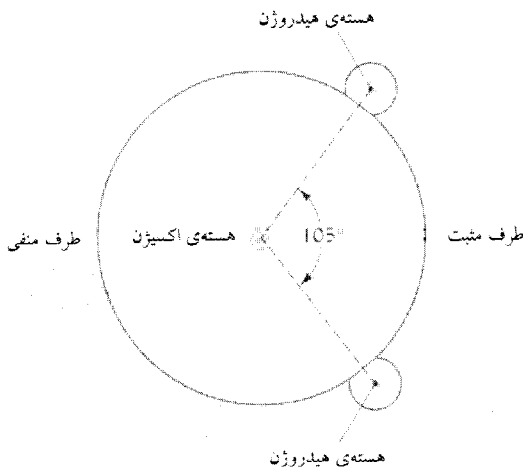
طرز قرارگرفتن سه اتم در مولکول آب برخلاف انتظار متقارن نیست. به‌جای این‌که اتم‌ها به‌صورت خطی (H-O-H) قرار گرفته باشند، اتم‌های هیدروژن به‌صورت شکل عدد ۸ به اتم اکسیژن متصل شده و زاویه ۱۰۵ درجه را تشکیل می‌دهند. همان‌طورکه در شکل۱-۵ نشان

داده شده است این آرایش سبب ایجاد مولکول غیرمتقارن با تمایل بیشتر الکترون‌های مشترک به اتم اکسیژن شده است. درنتیجه، مولکول آب دارای خاصیت قطبی می‌باشد که در آن بار به‌طور یکنواخت توزیع نیافته است. در طرفی که اتم‌های هیدروژن قرار گرفته‌اند آب تمایل دارد که بار مثبت[1] و سمت مخالف بار منفی[2] داشته باشد و این واقعیت که آب از مولکول‌های قطبی تشکیل شده است دلیل بسیاری از خصوصیاتی است که امکان می‌دهد آب نقش منحصربه‌فرد در محیط خاک داشته باشد.

ویژگی قطبی‌بودن کمک می‌کند که بتوانیم چگونگی تعامل مولکول‌های آب را بر همدیگر تشریح کنم. هر مولکول آب به‌طور کاملاً مستقل عمل نمی‌کند، بلکه به مولکول‌های هم‌جوار متصل می‌باشد. طرف هیدروژن‌دار (مثبت) یک مولکول آب سبب جذب طرف اکسیژن‌دار (منفی) مولکول دیگر شده و سبب ایجاد یک گروه زنجیره (پلی‌مر)[3] می‌شوند. به‌خاطر خوشه ای‌بودن مولکول‌های آن، آب دارای نقطه جوش بالاتر از سایر محلول‌ها با وزن مولکولی مشابه پایین (مانند متیل الکل) می‌باشد.

قطبی‌بودن همچنین تشریح می‌کند که چرا مولکول‌های آب به‌وسیله‌ی یون‌های دارای بار الکتریسته ساکن و سطوح کلوییدی جذب می‌شوند کاتیون‌های نظیر $Ca^{2+}, k^{+}, Na^{+}, H^{+}$ با جذب در طرف اکسیژن‌دار مولکول آب (منفی) هیدراته می‌شوند. به‌همین ترتیب، سطوح رسی دارای بار منفی آب را از طرف هیدروژن‌دار (مثبت) مولکول آب جذب خود می‌کنند. قطبی‌بودن مولکول‌های آب سبب حل‌شدن نمک‌ها در آب می‌شود. زیرا ترکیبات یونی نمک تمایل بیشتری برای جذب آب تا جذب همدیگر را دارند.

وقتی مولکول‌های آب به یون‌های دارای بار الکتریسته ساکن و یا سطوح رسی جذب می‌شوند. متراکمتر از مولکول آب خالص می‌گردند. در این حالت تراکم، آزادی حرکت آن‌ها محدود گردیده، و سطح انرژی آن‌ها از آب خالص کمتر است. بنابراین، وقتی یون‌ها و یا سطوح رسی هیدراته می‌شوند باید انرژی آزاد گردد. این انرژی آزاد شده هنگام آبگیری یون[4]، به گرمای انحلال[5] و در هنگام مرطوب‌شدن خاک به گرمای مرطوب‌شدن[6] مشهور است. پدیده آخری با قراردادن مقداری رس خشک بافت ریز در کف دست و اضافه‌کردن چند قطره‌ی آب و احساس افزایش اندکی در دمای خاک می‌تواند به نمایش گذاشته شود.



شکل ۱-۵ نمایش دو بعدی مولکول آب که شامل یک اتم بزرگ اکسیژن و دو اتم کوچک هیدروژن می‌باشد. یک طرف مولکول آب که دو اتم هیدروژن در آن قرار گرفته است از نظر بار مثبت و طرف دیگر آن منفی بوده و این دلیل قطبی‌بودن آب می‌باشد.

پیوند هیدروژنی

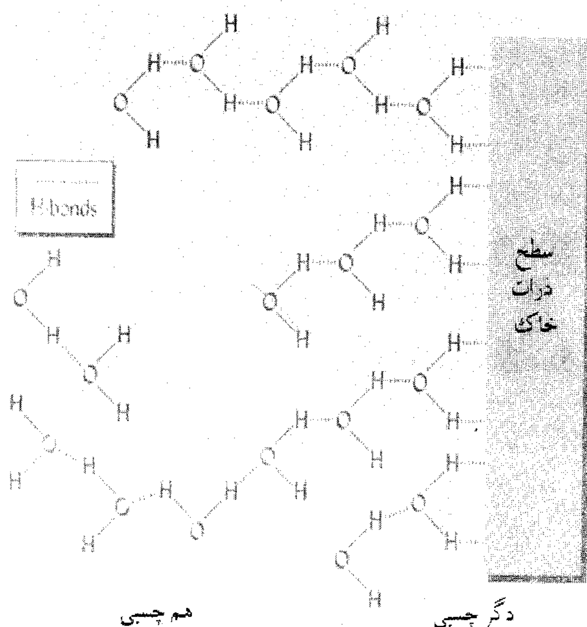
براثر پدیده‌ای به‌نام پیوند هیدروژنی یک اتم هیدروژن ممکن‌است بین دو اتم دارای بار منفی مانند O و N به‌وسیله‌ی یک اتصال با انرژی نسبتاً کم به شرکت گذاشته شود. به‌خاطر بار منفی زیاد اتم اکسیژن، یک مولکول آب سبب جذب یک اتم هیدروژن از مولکول آب مجاور می‌شود و این نوع پیوند علت تشکیل زنجیره در آب می‌باشد. پیوند هیدروژن مسؤول نقطه‌ی جوش، گرمای ویژه و گرانروی نسبتاً بالای آب در مقایسه با سایر ترکیبات حاوی هیدروژن مانند H_2S که فاقد پیوند هیدروژنه و دارای وزن مولکولی بالاتر است، می‌باشد. پیوند هیدروژنی همچنین مسؤول پایداری ساختمانی بعضی از بلورهای رسی، و ساختمان بعضی از ترکیبات الی مانند پروتیین‌ها می‌باشد.

---

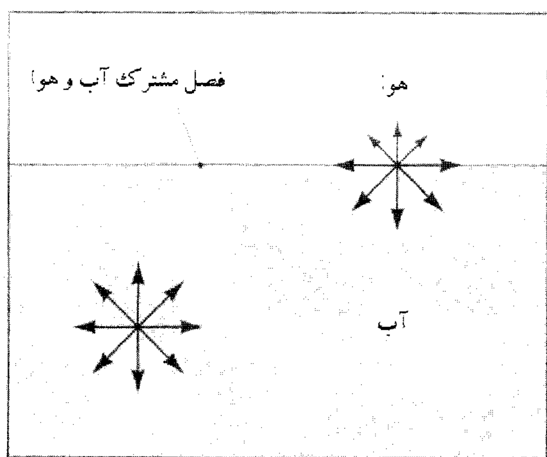
[1] - Electropositive
[2] - Electronegative
[3] - Polymer
[4] - Hydration
[5] - Heat Of Sulution
[6] - Heat Of Wetting

هم‌دوسی (هم‌چسبی)[1] در مقایسه با دگردوسی[2] (دگرچسبی)

پیوند هیدروژنی علت دو نیروی اساسی مؤثر در نگهداری و حرکت آب در خاک‌ها می‌باشد. تمایل مولکول‌های آب برای پیوستن به‌همدیگر هم‌دوسی، و تمایل آن‌ها برای جذب بر روی سطوح جامدات دگردوسی می‌باشد. در اثر دگردوسی، که به آن جذب نیز گفته می‌شود، بعضی از مولکول‌های آب محکم به سطوح جامدات می‌چسبند، این مولکول‌های در پیوند محکم با سطوح جامد به‌نوبه‌ی خود به‌وسیله‌ی هم‌چسبی به سایر مولکول‌های آب دورتر از سطح جامد اتصال می‌یابند (شکل ۲-۵). دو نیروی هم‌چسبی و دگرچسبی با هم امکان نگهداری آب به‌وسیله‌ی مواد جامد خاک و کنترل حرکت و مصرف آن را فراهم خواهند کرد. هم‌چسبی و دگرچسبی سبب بروز خصوصیت شکل‌پذیری به‌وسیله‌ی رس می‌شوند. (بخش ۹-٤ را مشاهده کند).



شکل ۲-۵ نیروهای هم‌چسبی (بین مولکول‌های آب) و دگرچسبی(بین آب و سطوح جامدات) در یک سامانه آب-خاک. نیروها حاصل پیوند هیدروژنه می‌باشند که به‌وسیله‌ی خطوط بریده نشان داده شده‌اند. نیروهای دگرچسبی و یا جذبی در ارتباط فاصله با سطح جامد به‌سرعت کاهش پیدا می‌کنند. هم‌چسبی یک مولکول آب با مولکول دیگر سبب می‌شود که مولکول‌های آب خوشه‌های موقتی تشکیل دهند که به‌طور مداوم اندازه و شکل مولکول‌های آن‌ها با شکسته‌شدن مولکول‌ها آب و یا اتصال آن‌ها تغییر کند. نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های آب همچنین امکان می‌دهد که بخش جامد به‌طور غیرمستقیم آزادی آب را در فاصله چندی دورتر از فصل مشترک جامد-مایع محدود سازد.



شکل ۳-۵ نیروهای قابل‌مقایسه که بر روی مولکول‌های آب در سطح وزیر سطح آب اثر می‌کنند. نیروهای زیر سطح اب در تمام جهات مساوی می‌باشند، زیرا یک مولکول آب به‌طور یکسان جذب تمام مولکول‌های اطراف شده است. درمقایسه، جذب مولکول‌های آب در سطح به‌وسیله‌ی مولکول‌های هوا به‌مراتب از جذب مولکول‌های آب به‌وسیله‌ی همدیگر کمتر است. درنتیجه یک نیروی پایین‌برنده خالص در سطح آب برای مولکول‌های آب به‌وجود می‌آید که همانند کشش یک غشاء عمل می‌کند. این پدیده کشش سطحی نام دارد.

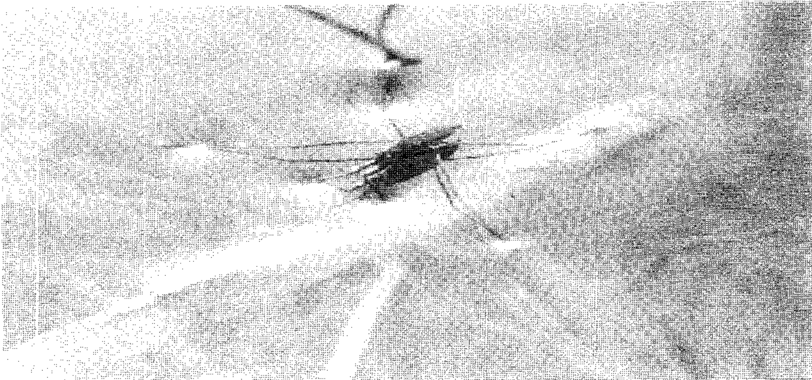
1 - Cohesion
2 - Adhesion

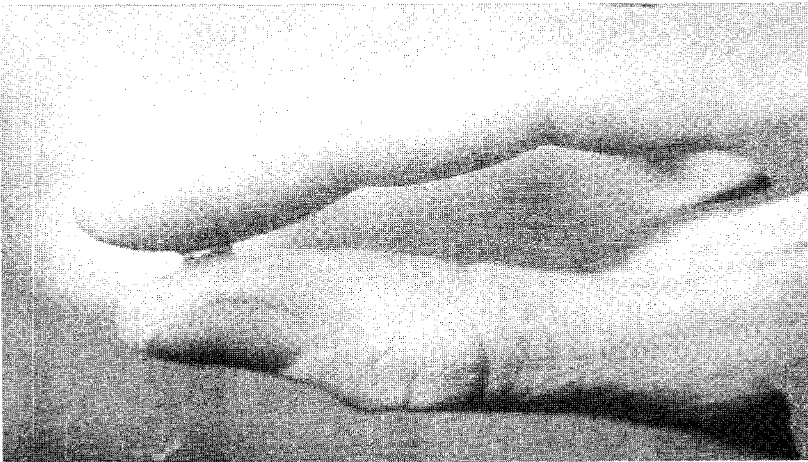
کشش سطحی[1]

یکی دیگر از خصوصیات مهم آب که به‌طور آشکار در رفتار خاک‌ها بسیار مؤثر است کشش سطحی می‌باشد. این پدیده معمولاً در فصل مشترک مایع و هوا نمایان بوده و سبب جذب هرچه بیشتر مولکول‌های آب با همدیگر در مقایسه با هوای بالای خود خواهد شد (دگرچسبی) (شکل ۳-۵). نتیجه نهایی ایجاد یک نیروی روبه‌داخل در سطح است که سبب می‌شود که آب چنان رفتار کند که انگار سطح آن به‌وسیله‌ی یک غشاء ارتجاعی پوشیده شده است، پدیده‌ای که برای آن‌هایی که حشرات را قدم‌زنان بر روی یک استخر آب مشاهده می‌کند بسیار آشنا می‌باشد (شکل ۸-۵). به‌خاطر نیروی جذب نسبتاً بالای مولکول‌های آب به‌همدیگر، آب دارای کشش سطحی بالا (۷۲/۸ نیوتون در میلی‌متر در ۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد) درمقایسه با دیگر محلول‌ها (برای نمونه الکل اتیلیک با ۲۲/٤ نیوتن در میلی‌متر) می‌باشد. همان‌طورکه خواهیم دید. کشش سطحی عامل مهمی در پدیده مویینه است که چگونگی حرکت و نگهداری آب را در خاک تعیین می‌کند.

۲-۵ اصول مویینه و آب خاک

حرکت روبه‌بالای آب از یک فتیله پدیده مویینگی را مشخص می‌سازد. مویینه حاصل دو نیرو است. اول نیروی جذب آب به‌وسیله‌ی مولکول‌های جامدات در لوله‌ها و مسیرهای حرکت آن می‌باشد (دگردوسی یا جذب). دوم کشش سطحی آب که عمدتاً نتیجه‌ی جذب مولکول‌های آب با همدیگر می‌باشد (هم‌دوسی)





شکل ٤-۵ شواهد روزمره از کشش سطحی آب (شکل بالا) یک حشره در روی آب فرود آمده و غوطه‌ور نمی‌شود به‌دلیل نیروهای هم‌چسبی و دگرچسبی. (شکل زیر) یک قطره آب بین انگشتان نگهداری می‌شود.

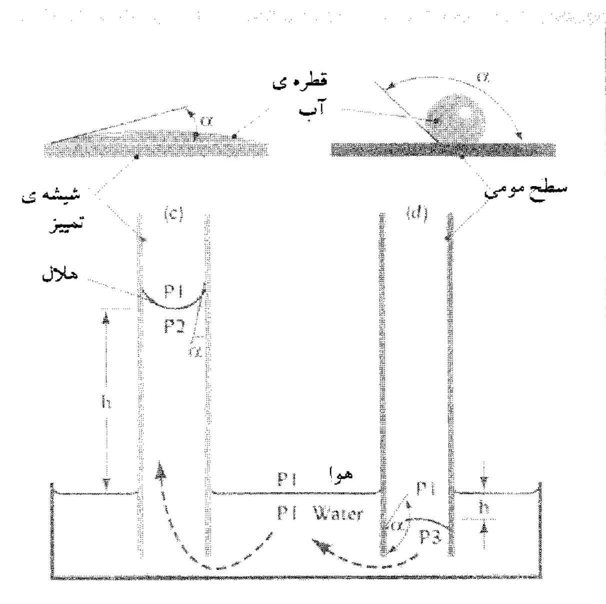
سازوکار مویینه

پدیده‌ی مویینه را می‌توان با قراردادن انتهای باز یک لوله شیشه‌ای نازک تمیز در داخل آب به نمایش گذاشت. آب در لوله بالا آمده و هرچه لوله نازک‌تر باشد مقدار بالاآمدن بیشتر است. مولکول‌های آب جذب دو طرف لوله شده (دگرچسبی) و در پاسخ به این تمایل جذب درطول لوله شروع به حرکت و بالارفتن می‌کنند. درهمین زمان نیروهای همدوسی سبب نگهداری مولکول‌های آب با همدیگر و ایجاد پدیده

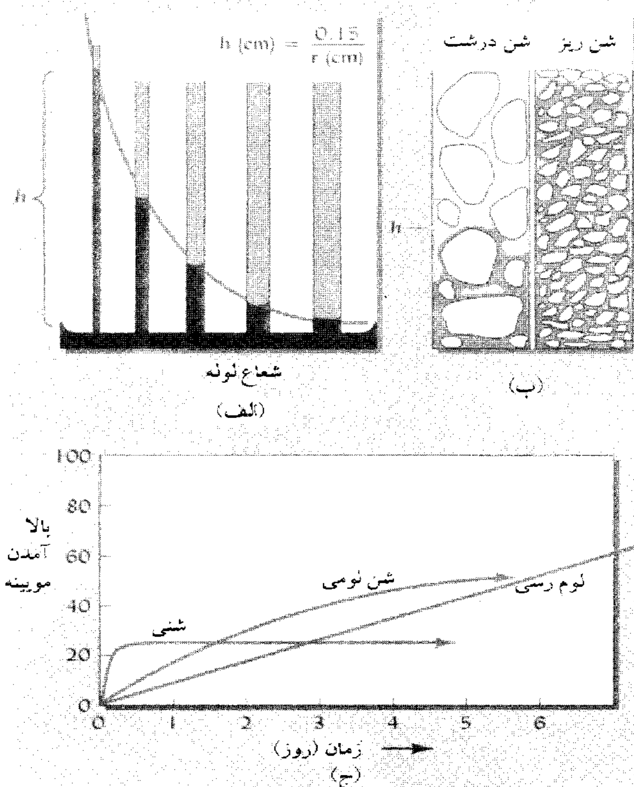
---

1 - Surface Tension

کشش سطحی می‌شود که یک سطح منحنی (هلال[1] نامیده می‌شود) درفصل مشترک آب‌وهوا در لوله تشکیل می‌دهد (شکل ۵-۵ج). فشار کمتر در زیر هلال در لوله (P_2) باعث می‌شود که فشار بالاتر (P_1) در روی سطح آزاد، آب را در لوله بالا بفرستد. فرایند تا بالارفتن آب به ارتفاعی که در آن وزن ستون آب درست مساوی اختلاف فشار در اطراف هلال باشد ادامه دارد(برای درک جزییات به تابلو ۱-۵ مراجعه کنید)



شکل ۵-۵ تعامل آب با یک سطح آب‌دوست (الف و ج) و یک سطح آب گریز (ب و د) سبب ایجاد یک زاویه تماس خالص (α) می‌شود. اگر سطح جامد آب را احاطه کند مانند یک لوله، یک سطح منحنی در فصل مشترک آب‌وهوا به‌نام هلال در اثر نیروهای هم‌چسبی و دگرچسبی ایجاد می‌شود. وقتی آب‌وهوا در یک سطح هلالی با همدیگر برخورد می‌کنند فشار در قسمت محدب هلال کمتر از قسمت مقعر آن است. (ج) صعود مویینه در یک لوله آب‌دوست باریک (مثلاً شیشه) به‌علت کمتربودن فشار در زیر هلال (P_2) از فشار در سطح آزاد آب (P_1) صورت می‌گیرد. (هـ) نزول مویینه وقتی لوله آب‌گریز باشد و هلال برعکس باشد اتفاق می‌افتد.



شکل ۶-۵ حرکت روبه‌بالای مویینه در داخل لوله‌ها با قطرهای مختلف و خاک‌ها با اندازه‌ی منافذ متفاوت. (الف) معادله مویینه را می‌توان ترسیم کرد تا نشان دهد وقتی شعاع داخلی لوله نصف شود ارتفاع صعود ۲ برابر خواهد شد. همان معادله را با استفاده از لوله‌های شیشه‌ای با قطرهای مختلف می‌توان به نمایش گذاشت. (ب) همان اصول نیز اندازه منافذ را در یک خاک به ارتفاع صعود مرتبط می‌کند اما ارتفاع صعود در یک خاک به‌خاطر شکل اعوجاج و اندازه‌ی متفاوت منافذ خاک (و همین‌طور به‌خاطر حفره‌های محبوس هوا) نا منظم و پرنوسان می‌باشد. (ج) هرچه بافت خاک ریزتر باشد قطر متوسط منافذ کوچک‌تر بوده و بنابراین ارتفاع نهایی صعود مویینه آب بر روی سطح ایستابی بالاتر خواهد بود. هرچند به‌دلیل نیروهای اصطکاکی بسیار بیشتر در منافذ ریزتر، صعود مویینه در خاک‌های بافت ریز در مقایسه با شن بسیار کندتر می‌باشد

[1] - Meniscus

ارتفاع صعود در یک لوله مویینه به‌طور عکس با شعاع لوله (r) و چگالی حجمی مایع و به‌طور مستقیم با کشش سطحی مایع و میزان جذب به سطح خاک (زوایه تماس) در ارتباط است. با توجه به خصوصیات آب در یک دمای معین (مثلاً ۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد) این عوامل مجموعاً مقدار ثابتی را تشکیل داده و می‌توان معادله‌ی ساده‌ی مویینه را برای محاسبه ارتفاع صعود h به‌صورت زیر ارائه نمود:

$$h = \frac{0.15}{r}$$

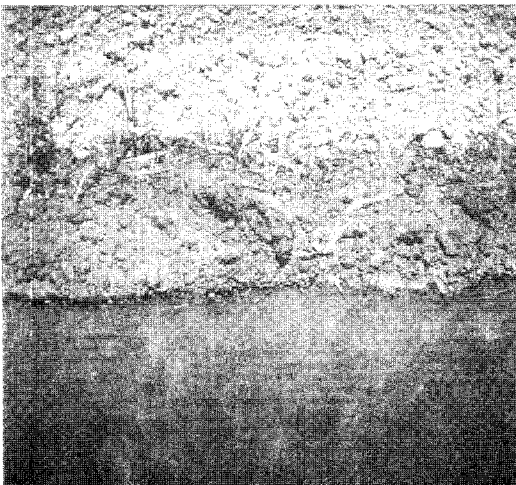
در این رابطه h و r بر حسب سانتی‌متر می‌باشند. معادله بیانگر آن است که هرچه قطر لوله کوچک‌تر باشد نیروی مویینه و بالاآمدن ارتفاع آب در لوله بیشتر است (شکل ٦-٥ الف).

ارتفاع صعود در خاک

نیروی مویینه در تمام خاک‌های مرطوب فعال است. هر چند میزان حرکت و ارتفاع بالاآمدن تنها در رابطه با قطر خلل و فرج، کمتر از مقدار قابل‌انتظار است. دلیلی که می‌توان ارائه داد این است که منافذ خاک همانند لوله‌های شیشه‌ای مستقیم و یکنواخت نمی‌باشند و به‌علاوه بعضی از منافذ خاک از هوا پر شده‌اند که حرکت آب را براثر مویینه کاهش داده و یا آنرا متوقف می‌کند.(شکل ٦-٥ ب)

حرکت روبه بالای آب براثر پدیده‌ی مویینه در خاک‌های مختلف در شکل (٦-٥ ج) نشان داده شده است. معمولاً ارتفاع صعود نهایی درنتیجه‌ی مویینه‌گی در خاک‌های بافت ریز بیشتر است. اما سرعت حرکت ممکن‌است به‌دلیل وجود نیروهای اصطکاکی درآن‌ها پایین باشد. منافذ درشت در خاک‌های شنی مقاومت اصطکاکی کمتری در مقابل حرکت مویینه سریع آب بروز می‌دهند. هرچند همان‌طورکه از معادله‌ی مویینه انتظار می‌رود. هرچه شعاع منافذ بین ذرات شن بزرگ‌تر باشد سبب ارتفاع کمتری برای صعود مویینه خواهد شد[1].

مویینه به‌طور سنتی به‌عنوان حرکت روبه‌بالا تعریف شده است. اما حرکت در هر سمتی صورت می‌گیرد زیرا نیروی جذب بین منافذ خاک و آب در منافذ افقی نیز همانند منافذ قایم در تشکیل هلال مؤثر است (شکل ٧-٥). اهمیت مویینه در اداره‌ی حرکت آب در منافذ کوچک در مبحث مفاهیم انرژی آب خاک روشن خواهد شد.

شکل ٧-٥ همان‌طورکه این منظره آبیاری در ایالت آریزونا نشان می‌دهد (چپ)، آب براثر مویینه از یک جویچه آبیاری به طرف بالای پشته حرکت کرده است. عکس سمت راست نشان‌دهنده مقداری حرکت افقی در هر دو طرف جوی آبیاری می‌باشد.

٣-٥ مفاهیم انرژی آب خاک

نگهداری و حرکت اب در خاک، جذب و جابه‌جایی ان در گیاهان و اتلاف ان در نیوار تماماً پدیده‌های مربوط به انرژی می‌باشند. انواع مختلفی از کارمایه مانند انرژی پتانسیل و انرژی جنبشی وجود دارد. کارمایه جنبشی مطمئناً عامل مهمی در جریان سریع و متلاطم آب در

---

۱ - برای مثال اگر آب براثر مویینه به ارتفاع ۳۷ سانتی‌متر در بالای سطح آب آزاد در خاک شنی برسد (در مثال ٦-٥ ج نشان داده شده است). می‌توان برآورد نمود (با تنظیم مجدد معادله مویینه به‌صورت ($r={}^{0.5}/_{h}$)) که کوچک‌ترین منافذ پیوسته باید شعاعی در حد ٠٠٤/ سانتیمتر داشته باشند. این محاسبات کمترین شعاع مؤثر منافذ را در خاک به‌طور تقریبی برآورد می‌کند.

یک رودخانه می‌باشد. اما حرکت آب درداخل خاک چنان آهسته است که جزء انرژی جنبشی معمولاً قابل‌اغماض می‌باشد. انرژی پتانسیل درتعیین وضعیت وحرکت آب خاک مهمترین می‌باشد. به‌خاطر سهولت دراین کتاب از واژه انرژی به‌جای انرژی پتانسیل استفاده می‌کنیم.

در بررسی انرژی ما باید به‌خاطر داشته باشیم که تمام مواد، از جمله آب تمایل دارند که از یک سطح انرژی بالا به سطح انرژی پایین تغییر یافته و یا حرکت کنند. بنابراین اگر، سطح انرژی مربوطه در نقاط مختلف خاک را بدانیم می‌توانیم مسیر حرکت آب را برآورد کنیم *اختلاف* در بین سطوح انرژی در بین دو نقطه مجاور است که در این حرکت آب مؤثر می‌باشد.

نیروهای مؤثر در انرژی پتانسیل

مباحث ساختمان و خصوصیات آب که در بخش قبل تشریح گردید سه نیروی مهم مؤثر را در سطح انرژی آب خاک مطرح می‌کنند. اول، دگرچسبی و یا جذب آب به مواد جامد خاک (ماتریکس) سبب ایجاد نیروی ماتریک (مسؤول جذب و مویینه‌گی) می‌شود که باعث کاهش چشمگیر میزان انرژی آب در نزدیکی سطوح ذرات می‌گردد. دوم، جذب آب به‌وسیله‌ی ین‌ها و سایر مواد حل‌شدنی است که سبب ایجاد نیروی اسمز و کاهش سطح انرژی آب در محلول خاک می‌شود. حرکت اسمزی آب خالص از یک غشاء نیمه‌تراوا به‌داخل یک محلول (اسمز) بیانگر انرژی پایین آب در محلول می‌باشد. سومین، عامل عمده که بر روی آب خاک مؤثر است نیروی ثقل است که همیشه سبب کشاندن آب به‌طرف پایین (مرکز زمین) می‌شود. سطح انرژی اب خاک در یک ارتفاع به‌خصوص در خاکرخ از سطح انرژی آب در ارتفاع کمتر بالاتر است این اختلاف در سطح انرژی سبب حرکت روبه‌پایین می‌شود.

پتانسیل آب خاک

اختلاف در سطح انرژی آب از یک منطقه و یا از یک حالت (مثلاً در خاک مرطوب) با منطقه و حالت‌های دیگر (مثلاً در خاک خشک) تعیین‌کننده‌ی جهت و میزان حرکت اب در خاک‌ها و گیاهان می‌باشد. در یک خاک مرطوب بیشتر آب در منافذ درشت و یا لایه‌های ضخیم آب در دور ذرات تشکیل شده است. بنابراین، اکثر مولکول‌های آب در یک خاک خیس خیلی نزدیک سطح ذرات نبوده و بسیار محکم به‌وسیله‌ی ذرات جامد خاک (ماتریکس) نگهداری نمی‌شود. در این شرایط مولکول‌های آب دارای آزادی حرکت قابل‌ملاحظه‌ای می‌باشند بنابراین، سطح انرژی آن‌ها نزدیک سطح انرژی مولکول‌های آب در یک استخر آب خالص در خارج از خاک می‌باشد، هرچند در خاک خشک‌تر آب باقی‌مانده در منافذ کوچک و لایه‌های نازک آب قرار داشته و بنابراین به‌وسیله‌ی ذرات جامد خاک محکم نگهداری شده‌است. در این‌صورت مولکول‌های آب در یک خاک خشک‌تر دارای آزادی حرکت کمتر می‌باشند و سطح انرژی آب بسیار پایین‌تر از سطح انرژی در خاک خیس است. اگر نمونه‌های خاک خشک و خیس در تماس با یکدیگر قرار گیرند. آب از خاک خیس (سطح انرژی بالاتر) به خاک خشک‌تر (سطح انرژی پایین‌تر) حرکت خواهد کرد.

تعیین سطح انرژی مطلق آب خاک مشکل بوده و در بعضی موارد کاری غیرممکن است. خوشبختانه، دانستن سطح انرژی مطلق آب برای قادربودن به تخمین چگونگی حرکت ان در خاک‌ها و محیط لازم نیست، مقادیر نسبی انرژی آب تنها چیزی است که موردنیاز می‌باشد. وضعیت انرژی آب خاک در یک موقعیت خاص در خاکرخ معمولاً با آب در فشار و دمای استاندارد که تحت تأثیر خاک قرار نداشته و در یک ارتفاع مرجع قرار گرفته است مورد مقایسه قرار می‌گردد. اختلاف در سطح انرژی بین این آب خالص در حالت استاندارد و آب خاک، پتانسیل آب خاک نامیده می‌شود (شکل‌۸-۵)، واژه پتانسیل همانند واژه فشار بیانگر تفاوت در حالت انرژی است.

اگرتمام مقادیر پتانسیل آب خاک موردملاحظه دارای یک نقطه مرجع معمول باشند(وضعیت انرژی آب خالص). اختلاف پتانسیل آب دربین دو نمونه‌ی خاک در واقع بیانگر اختلاف در سطح انرژی مطلق آن‌هاست. این بدان‌معنی است که آب از یک منطقه‌ی خاک با پتانسیل آب خاک بیشتر به نقطه دیگر با پتانسیل آب خاک کمتر حرکت خواهد کرد. این واقعیت را باید درمورد رفتار آب در خاک همیشه به‌خاطر داشته باشیم.

پتانسیل آب خاک به‌خاطر نیروهای متعددی است که هر کدام جزیی از پتانسیل کل آب خاک (Ψ_t) را تشکیل می‌دهند. این اجزاء ناشی از تفاوت در سطح انرژی حاصل از نیروهای ثقلی، ماتریک، فشار غوطه‌وری و اسمزی بوده و به ترتیب پتانسیل ثقلی (Ψ_g) و پتانسیل ماتریک (Ψ_m) پتانسیل غوطه‌وری و پتانسیل اسمزی (Ψ_o) نامیده می‌شوند. تمام این اجزاء برای تأثیر بر رفتار آب در خاک همزمان عمل می‌کنند. رابطه‌ی کلی پتانسیل آب خاک با سطوح انرژی پتانسیل در شکل ۸-۵ نشان داده شده است و می‌تواند به‌صورت زیر بیان شود.

$$\psi_t = \psi_g + \psi_m + \psi_0 + \ldots$$

که در آن از قلم افتاده‌ها (......) بیانگر نقش پتانسیل‌های اضافی دیگر است که هنوز به آن‌ها اشاره نشده است.

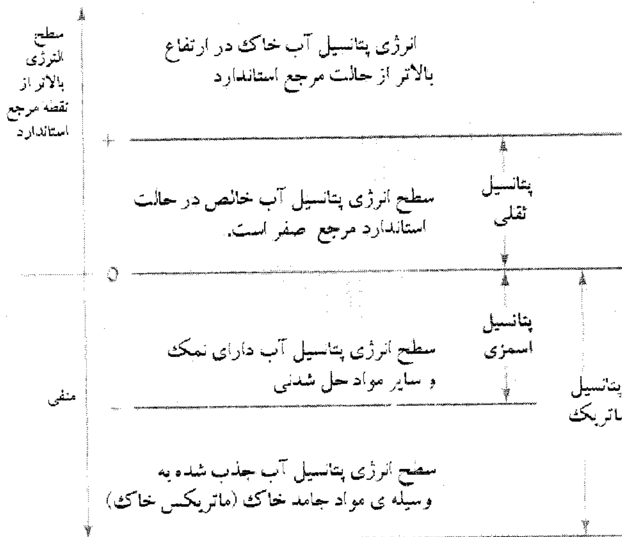
پتانسیل ثقلی

نیروی ثقل می‌تواند بر روی آب خاک همانند سایر اجسام دیگر عمل کند (شکل ۹-۵)، جاذبه به‌طرف مرکز زمین است. پتانسیل ثقلی ψ_g آب خاک ممکن‌است با عبارت ریاضی به‌صورت زیر نوشته شود.

$$\psi_g = gh$$

که در آن g شتاب ثقل h ارتفاع آب خاک در بالای یک سطح مقایسه می‌باشد. سطح مقایسه معمولاً در داخل خاکرخ و یا مرز پایین‌ترین افق آن انتخاب می‌شود تا مطمئن باشم پتانسیل ثقلی آب خاک در بالای نقطه مرجع همیشه مثبت است.

به‌دنبال بارندگی سنگین و آبیاری، ثقل نقش مهمی در خارج‌کردن آب اضافی از افق‌های فوقانی خاک و تغذیه‌ی آب زیرزمینی در زیر خاکرخ ایفا می‌کند. در هنگام بحث حرکت آب خاک به این مسأله توجه بیشتری معطوف خواهد شد.



شکل ۸-۵ رابطه‌ی بین انرژی پتانسیل آب خالص در یک حالت مرجع استاندارد (فشار، دما و ارتفاع) و پتانسیل آب خاک. اگر آب خاک دارای نمک و سایر مواد حل‌شدنی باشد کشش دو جانبه بین مولکول‌های آب و این مواد شیمیایی انرژی پتانسیل آب خاک را کاهش می‌دهد و میزان کاهش، پتانسیل اسمزی نامیده می‌شود. همین‌طور کشش دو جانبه بین ذرات جامد خاک (ماتریکس خاک) و مولکول‌های آب خاک انرژی پتانسیل آب خاک را کاهش می‌دهد. در این‌صورت کاهش پتانسیل ماتریک گفته می‌شود. از آن‌جا که تعامل این دو انرژی، انرژی پتانسیل آب را نسبت به آب خالص می‌کاهند، کاهش در سطح انرژی (انرژی اسمزی و انرژی ماتریک) هردو منفی در نظر گرفته می‌شود. برعکس اختلاف در انرژی به‌خاطر ثقل (پتانسیل ثقلی) همیشه مثبت است و آن به‌این‌خاطراست‌که ارتفاع مرجع آب خالص عمدتاً در محلی در زیر خاکرخ زیرآب خاک انتخاب شده است. ریشه گیاه در تلاش برای خارج‌کردن آب از یک خاک مرطوب باید بر این سه نیرو همزمان غلبه کند.



شکل ۹-۵ چه با پتانسیل ماتریک چه پتانسیل اسمزی و یا پتانسیل ثقل سروکار داشته باشیم (همان‌طورکه در شکل نشان داده شده است) آب همیشه به‌طرفی حرکت می‌کند که انرژی آن کاهش یابد. دراین‌صورت انرژی از بین‌رفته به‌وسیله‌ی آب برای گرداندن چرخ آبی آسیاب برای آردکردن دانه‌ها به‌کار رفته است.

تابلو ۱-۵ سازوکار مویینه

عمل مویینه ناشی از نیروهای توام دگرچسبی و هم‌چسبی می‌باشد. همان‌طورکه هنگام قراردادن یک قطره اب بر روی یک سطح جامد مشاهده می‌شود. مواد جامد که دارای سطوح الکتریسیته منفی هستند (برای نمونه به‌خاطر اکسیژن‌های آرایش چهار وجهی سیلیس در کانی کوارتز و یا شیشه) با شدت طرف هیدروژن‌دار مولکول آب را که الکتریسیته مثبت است جذب می‌کنند. به این مواد هیدروفیلیک (آب‌دوست) گفته می‌شود، زیرا کشش مولکول‌های آب برای مواد جامد (دگرچسبی) بسیار از نیروی جذب مولکول‌ها روی یکدیگر (هم‌چسبی) بیشتر است. دگرچسبی باعث می‌شود که یک قطره آب که بر روی مواد جامد آب‌دوست، مانند شیشه نیز قرار داده شود در سطح شیشه پخش شود و زاویه‌ی تمایل حاده (۹۰° >) در فصل مشترک آب‌وهوا و سطح جامد به‌وجود آید (شکل ۵-۵ الف را مشاهده کنید). این زاویه تماس ویژگی شاخص یک زوج مایع و جامد (برای نمونه شیشه و آب) می‌باشد. هرچه مولکول‌های آب شدیدتر جذب سطوح جامد شده باشند زاویه تماس به صفر نزدیک‌تر است.

برعکس، مولکول‌های آب در صورت قرارگرفتن بر روی سطوح آب‌گریز (متنفر از آب) به‌صورت یک کره در آمده و زاویه تماس حاصل منفرجه (۹۰ <) می‌باشد و این بدان‌معنی است که دگرچسبی در این مورد کمتر از هم‌چسبی است (شکل ۵-۵ ب را مشاهده کنند) این رابطه، مشخص می‌سازد که چرا آب در یک اتومبیل تازه جلای روغنی یافته به‌صورت قطرات در می‌آید.

حال به‌جای سطح صاف و قطره آب یک لوله با قطر اندک را که در یک طشت آب فرورفتهٔ باشد مورد ملاحظه قرار دهید. دگرچسبی مجدداً باعث می‌شود که آب برروی سطح شیشه پخش شود و همان زاویه‌ی تماس (α) را با سطح شیشه همانند قطره‌ی آب تشکیل دهد. در همان زمان هم‌چسبی در بین مولکول‌های آب سبب بروز کشش سطحی و ایجاد سطح منحنی (که هلال نامیده می‌شود) در فصل مشترک آب‌وهوا در لوله گردد (شکل ۵-۵ ج را مشاهده کنید). اگر زاویه تماس حدود صفر باشد خمش هلال تقریباً یک نیمکره را تشکیل خواهد داد.

فصل مشترک هلالی (به‌جای فصل مشترک مسطح) بین آب‌وهوا سبب می‌شود که فشار طرف محدب (P_2 در شکل ۵-۵ ج) کمتر از فشار در قسمت مقعر هلال باشد. فشار معمول نیوار P_1 برروی هلال و سطح آب آزاد طشت یکسان است و از آن‌جاکه فشار زیر هلال کمتر از فشار در سطح آب آزاد طشت می‌باشد، آب از لوله مویینه بالا رانده می‌شود. آب در لوله تا رسیدن هلال به ارتفاع h که در آن وزن ستون آب در لوله با اختلاف فشار P_1 - P_2 متعادل می‌شود بالا خواهد رفت. دراین شرایط نیروهای که آب را درلوله بالا می‌برند با نیروهای که آنرا به‌طرف پایین می‌کشانند درست متعادل می‌شوند.نیروهای بالابرنده به‌وسیله‌ی حاصل‌ضرب کشش سطحی T درطول تماس لوله و هلال (پیرامون لوله **2πr**) و جزء فوقانی این نیرو (Cosα) تعیین می‌شوند.

نیروهای پایین کشاننده به‌وسیله‌ی حاصلضرب چگالی آب (d) در حجم آب در بالای سطح آب آزاد ($h\,\pi r^2$) و شتاب ثقل (g) تعیین می‌شوند با توقف صعود مویینه می‌توانیم دو طرف را مساوی سازیم.

($d.h\pi r^2\,g$) نیروهای پایین کشنده =($T.2\pi r\,Cos\alpha$) نیروهای بالا برنده

توجه‌کنید اگر شعاع لوله نصف شود(۰/۵r)، نیروی بالابرنده نصف و نیروی پایین‌کشاننده ۱/۴خواهد شد بنابراین ارتفاع صعود آب هنگام تعادل نیروها ۲ برابر خواهدشد. دلیل بیشتربودن بالاآمدن مویینه در لوله‌های باریک‌تر همین‌است. معادله‌ای که نیروهای بالابرنده و پایین‌کشاننده را متعادل می‌سازد می‌تواند به‌طور جبری مجدداً منظم گردیده و معادله‌ای که ارتفاع مویینه را به‌دست می‌دهد مطابق زیر حاصل می‌شود.

$$h = \frac{2T Cos\alpha}{rdg}$$

اکثر واکنش‌های متقابل آب با جامدات از نوع آب‌دوست بوده که در شکل ۵-۵ الف و ج نشان داده شده است. جاذبه بین آب و سطوح ذرات جامد معمولاً چنان شدید است که زاویه تماس بسیار نزدیک صفر بوده و کسینوس آن مساوی یک می‌باشد. بنابراین در این شرایط از کسینوس زاویه (Cosα) می‌توان صرفنظر کرد. سه عامل دیگر که در بالاآمدن مویینه مؤثر هستند (T,d,g) در دمای خاص ثابت بوده و می‌توان آن‌ها را به‌صورت یک ثابت مرکب درآورد بنابراین می‌توانیم صعود مویینه را به‌صورت معادله ساده زیر در آوریم.

$$H(cm) = \frac{0.15\,(cm^2)}{r\,(cm)}$$

همان‌طورکه انتظار داریم بالاآمدن مویینه فقط وقتی صورت می‌گردد که لوله از مواد آب‌دوست درست شده باشد اگر یک لوله آب گریز(مانند یک سطح چرب) در یک مخزن آب فرو برده شود، هلال به‌جای تقعر درهوا تحدب پیدا خواهد کرد و موقعیت برعکس خواهد شد و پایین‌رفتن مویینه صورت خواهد گرفت (شکل ۵-۵ د را مشاهده کنید) این مورد در لایه‌های دافع آب در خاک‌رخ مشاهده می‌شود.

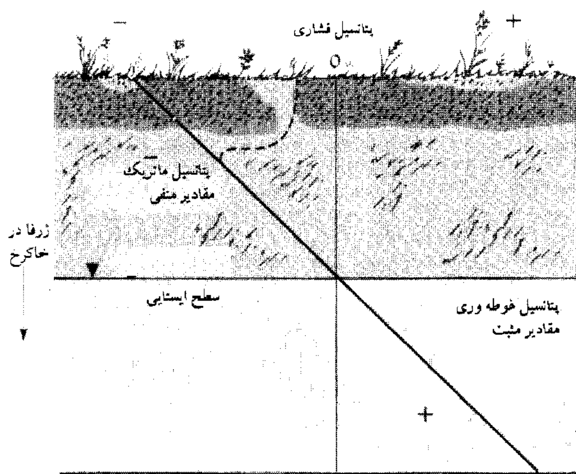
پتانسیل فشاری (شامل پتانسیل غوطه‌وری و پتانسیل ماتریک)

در این پتانسیل تمام عوامل پتانسیل آب خاک به غیراز ثقل و میزان نمک منظور گردیده است این پتانسیل به‌طور بسیار معمول شامل (۱)فشار مثبت آب ساکن ناشی از وزن آب در خاک و آبخوان‌های اشباع، (۲)فشار منفی به‌خاطر نیروهای جاذبه بین آب وذرات جامد خاک و یا ماتریکس خاک[1] می‌باشد.

فشار ناشی از آب ساکن سبب ایجاد پتانسیل غوطه‌وری ψ_s جزیی از پتانسیل آب خاک می‌شود که فقط در مناطق اشباع عمل می‌کند. هرکس که تا کف یک استخر شنا شیرجه رفته باشد فشار آب ساکن را برطبله‌های گوش خود حس کرده است.

جذب آب به سطوح جامد سبب ایجاد پتانسیل ماتریک ψ_m می‌شود که همیشه منفی است، زیرا آب جذب‌شده به‌وسیله‌ی ماتریکس خاک دارای سطح انرژی پایین‌تر از آب خالص می‌باشد. (به این فشار منفی بعضی مواقع مکش یا کشش گفته می‌شود). پتانسیل ماتریک در خاک‌های غیراشباع در بالای سطح آب زیرزمینی عمل می‌کند. درحالی‌که پتانسیل غوطه‌وری به خاک اشباع و یا در زیر سطح ایستابی اعمال می‌شود (شکل ۱۰-۵).

درحالی‌که هر کدام از این فشارها در شرایط خاص مزرعه معنی‌دار به‌شمار می‌آیند. پتانسیل ماتریک در تمام خاک‌های غیراشباع مهم می‌باشد، زیرا تعامل همه‌جا حاضری بین ذرات جامد خاک و آب وجود دارد. حرکت آب خاک، قابل‌استفاده‌بودن آب برای گیاهان و حل بسیاری از مسایل مهندسی راه و ساختمان تا حد قابل‌ملاحظه‌ای به‌وسیله‌ی پتانسیل ماتریک مشخص می‌شود. درنتیجه پتانسیل ماتریک همراه با پتانسیل ثقلی و پتانسیل اسمزی در این کتاب مورد توجه خاص قرار خواهد گرفت.



شکل ۱۰-۵ پتانسیل ماتریک و پتانسیل غوطه‌وری هر دو پتانسیل‌های فشاری هستند که در پتانسیل کل آب مؤثر می‌باشند. پتانسیل ماتریک همیشه منفی و پتانسیل غوطه‌وری مثبت است. وقتی آب در خاک غیراشباع در بالای سطح ایستابی قرار داشته باشد (بالای منطقه‌ی اشباع) در معرض پتانسیل ماتریک می‌باشد. آب در زیر سطح ایستابی در خاک اشباع در معرض پتانسیل غوطه‌وری است. در مثال نشان داده شده، پتانسیل ماتریک به‌طور خطی با ارتفاع در بالای سطح ایستابی کاهش می‌یابد و حاکی از آن است که آب بالا آمده در اثر جذب و مویینه از سطح آب زیرزمینی تنها منبع آب در این خاکرخ می‌باشد. بارندگی و یا آبیاری (خطوط نقطه چین را مشاهده کنید) سبب تغییر و یا انحنای خط مستقیم می‌شود اما روابط اساسی تشریح شده را تغییر نمی‌دهد.

پتانسیل ماتریک ψ_m که از پدیده دگرچسبی (جذب) و مویینه ناشی می‌شود در نگهداری رطوبت خاک و همچنین حرکت آب خاک مؤثر می‌باشد. اختلاف بین ψ_m دو منطقه‌ی مجاور خاک سبب انجام حرکت آب از منطقه مرطوب (سطح انرژی بالا) به منطقه خشک (سطح انرژی پایین) و یا از منافذ درشت به منافذ ریز می‌گردد. گرچه این حرکت ممکن‌است کند باشد، اما به‌ویژه در فراهم‌کردن آب برای ریشه گیاهان بسیار مهم می‌باشد.

پتانسیل اسمزی

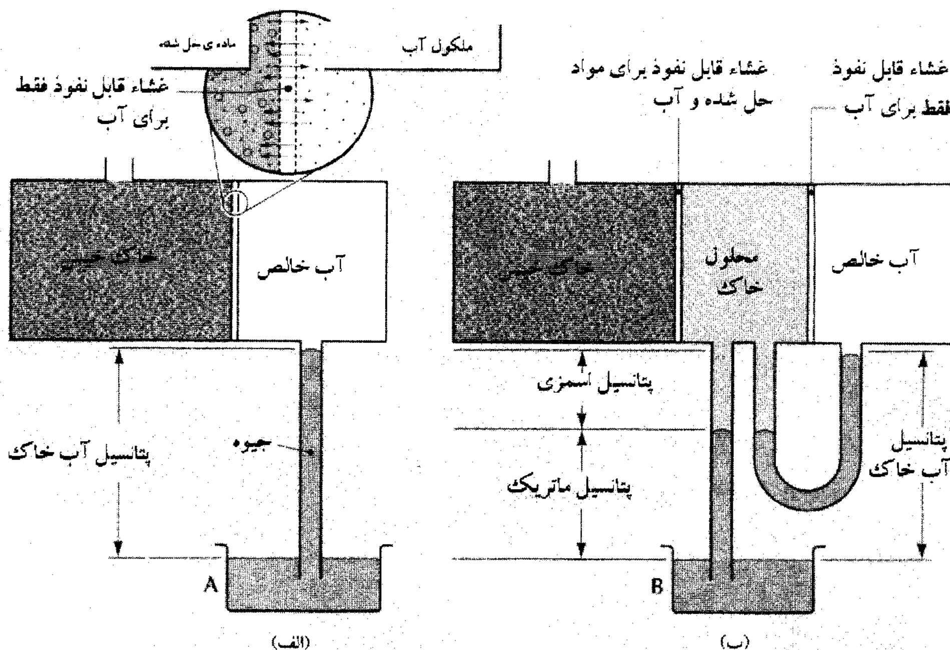
پتانسیل اسمزی (ψ_o) ناشی از حضور مواد حل‌شدنی در محلول خاک می‌باشد. ممکن‌است مواد حل‌شدنی نمک‌های معدنی و یا ترکیبات آلی باشند. حضور این نمک‌ها عمدتاً به این دلیل که سبب کاهش آزادی حرکت مولکول‌های آب می‌شوند که به‌صورت خوشه اطراف مویینه و یا مولکول حل‌شدنی قرار گرفته‌اند، باعث کاهش انرژی پتانسیل آب خاک می‌شود. هرچه غلظت مواد حل‌شدنی بیشتر باشد اسمز کاهش بیشترین را خواهد داشت. چون همیشه آب تمایل دارد به‌جایی حرکت کند که سطح انرژی آن پایین‌تر باشد در این مورد حرکت به‌سوی منطقه با غلظت مواد حل‌شدنی بیشتر می‌باشد. هرچند آب مایع در عکس‌العمل به اختلاف پتانسیل اسمزی (فرایند اسمز نام

[1] – علاوه نیروهای ماتریک و نیروهای آب ساکن در بعضی موارد وزن خاک مرده فوقانی و فشار هوا همچنین سبب افزایش توان کل آب خاک می‌گردد.

دارد) فقط وقتی حرکت می‌کند که یک غشا نیمه‌تراوا بین مناطق با پتانسیل اسمزی بالا و پایین وجود داشته باشد که امکان عبور آب را فراهم نموده و از حرکت مولکول‌های مواد حل‌شدنی ممانعت کند. اگر غشاء وجود نداشته باشد به‌جای آب مواد حل‌شدنی برای تعادل غلظت در محلول حرکت خواهند کرد

از آن‌جاکه مناطق خاک معمولاً به‌وسیله‌ی غشاء از هم جدا نمی‌باشند پتانسیل اسمزی ψ_o اثر اندکی برحرکت توده‌ای آب در خاک‌ها دارد. اثر عمده‌ی آن بر روی جذب آب به‌وسیله‌ی یاخته‌های ریشه می‌باشد که به‌وسیله‌ی غشاء یاخته‌ی نیمه‌تراوا از محلول خاک جدا شده‌اند. در خاک‌های دارای نمک‌های حل شده زیاد ψ_o محلول ممکن‌است کمتر(عدد منفی بزرگ‌تر) از ψ_o یاخته‌های ریشه باشد. این امر سبب ایجاد موانعی در جذب آب به‌وسیله‌ی گیاهان می‌گردد. در خاک‌های خیلی شور ممکن‌است پتانسیل اسمز آب خاک چنان پایین باشد که سبب فروپاشی[1] یاخته‌های گیاهچه‌های جوان با حرکت آب از یاخته‌های ریشه به‌طرف منطقه دارای پتانسیل اسمز پایین در خاک گردد.

حرکت تصادفی مولکول‌های آب سبب فرار تعدادی از آن‌ها از آب مایع و ورود آن‌ها به نیوار و تشکیل بخار آب گردد. از آن‌جاکه حضور مواد حل‌شدنی حرکت مولکول‌های آب را محدود می‌کند با افزایش غلظت مواد حل‌شدنی مولکول‌های آب اندکی به نیوار قرار خواهند کرد. بنابراین، فشار بخار آب در هوای بالای یک آب شور کمتر از فشار بخار آب در هوای بالای آب خالص می‌باشد. با تأثیر بر فشار بخار آب، ψ_o در حرکت بخار آب در خاک مؤثر است (بخش ۷-۵ را مشاهده کنند) فرایند اسمز و رابطه بین پتانسیل ماتریک و پتانسیل اسمز از پتانسیل کل آب خاک در شکل ۱۱-۵ نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۵ رابطه بین پتانسیل اسمز، ماتریک و پتانسیل ترکیبی آب خاک. (سمت چپ) یک ظرف حاوی خاک در نظر بگیرید که به‌وسیله‌ی یک پرده‌ی تراوا فقط نسبت به آب از ظرف محتوی آب خالص جدا شده است (به عکس جایگذاری شده که نشاندهنده، اسمز از غشاء است توجه کنید) آب خالص با یک لوله به طشت جیوه وصل است (شکل الف) آب خالص در پاسخ به نیروهای ماتریک که سبب جذب آب به‌وسیله‌ی مواد جامد خاک (ماتریکس) و نیروهای اسمز که سبب جذب آب به‌وسیله‌ی مواد حل‌شدنی است به داخل ظرف محتوی خاک حرکت می‌کند. در مرحله‌ی تعادل، ارتفاع ستون جیوه در بالای طشت جیوه (الف) معیاری از پتانسیل مرکب آب خاک است (ماتریک و اسمزی). (سمت راست) با فرض قرارگرفتن ظرف دیگری در بین خاک مرطوب و آب خالص که به‌وسیله‌ی یک پرده‌ی تراوا نسبت به آب و مواد حل‌شدنی از ظرف خاک جدا گردیده است، یُن‌ها از خاک به‌داخل این ظرف حرکت کرده و غلظتی که در تعادل با غلظت محلول خاک است ایجاد خواهند کرد. تفاوت بین انرژی آزاد آب خالص و این محلول خاک استانداردی برای پتانسیل اسمزی ψ_o می‌باشد. پتانسیل ماتریک ψ_m که به‌وسیله‌ی ارتفاع ستون جیوه، در بالای طشت (ب) اندازه‌گیری می‌شود تفاوت بین پتانسیل مرکب و پتانسیل اسمزی می‌باشد. پتانسیل ثقلی که دراین دیاگرام نشان داده نشده است برای تمام ظرف‌ها یکسان بوده وتأثیری درنتیجه ندارد زیرا حرکت افقی می‌باشد.

1 - Plasmolyze

روش‌های بیان سطوح انرژی

واحدهای مختلفی می‌توانند برای تشریح اختلافات در سطوح انرژی آب خاک مورد استفاده قرار گیرد. یک روش بر حسب ارتفاع ستون آب (معمولاً بر حسب سانتی‌متر) است که وزن آب دقیقاً مساوی پتانسیل مورد نظر می‌باشد. ما قبلاً این روش تشریح پتانسیل را در مبحث مویینه مورد توجه قرار داریم زیرا h در معادله مویینه پتانسیل ماتریک آب را در منافذ مویینه بر حسب سانتی‌متر برای ما مشخص می‌سازد. واحد دوم فشار استاندارد نیوار در کنار دریا می‌باشد که معادل ۷۶۰ میلی‌متر جیوه و یا ۱۰۲۰ سانتی‌متر آب می‌باشد. واحدی به نام بار[1] تقریباً مساوی فشار استاندارد نیوار می‌باشد. ممکن‌است انرژی در واحد جرم (ژول در کیلوگرم) و یا واحد حجم (نیوتون مترمربع) بیان گردد. در نظام بین‌المللی واحدها (SI) یک پاسکال (pa) معادل فشار یک نیوتون (N) در سطح یک مترمربع است. در این کتاب از واحد پاسکال یا کیلوپاسکال (KPA) برای بیان پتانسیل آب خاک استفاده می‌کنیم. از آن‌جاکه سایر نشریات ممکن‌است از سایر واحدها استفاده کنند، جدول ۱-۵ برای نشان‌دادن برابری بین روش‌های بیان پتانسیل آب خاک ارائه شده است.

٤-۵ میزان رطوبت خاک و پتانسیل آب خاک

در مباحث قبل مطرح گردید که یک رابطه‌ی عکس بین میزان آب خاک و تمایل لازم برای نگهداری آن در خاک وجود دارد. آب دارای آمادگی بیشتری برای خارج‌شدن از خاک مرطوب در مقایسه با خاک دارای رطوبت کمتر می‌باشد. بسیاری از عوامل در رابطه‌ی بین پتانسیل آب خاک Ψ و میزان رطوبت خاک θ موثر می‌باشند مثال‌های چندی این نکته را تشریح می‌کنند.

رطوبت خاک و منحنی‌های انرژی

رابطه بین پتانسیل آب خاک Ψ و میزان رطوبت θ سه خاک با بافت‌ها مختلف در شکل ۱۲-۵ نشان داده شده است این منحنی‌ها بعضی مواقع تحت عنوان منحنی‌های مشخصه آزادسازی آب[2] و یا به‌طور ساده‌تر منحنی‌های مشخصه آب نامیده می‌شوند. فقدان شکستگی‌های شدید در منحنی‌ها دلالت بر تغییرات تدریجی پتانسیل آب خاک در رابطه با میزان رطوبت و بالعکس دارد. خاک رسی در پتانسیل به‌خصوص مقدار بیشتری آب در مقایسه با خاک شنی و یا لومی نگهداری می‌کند. همین‌طور در میزان رطوبت به‌خصوص در خاک رس آب با شدت بیشتری در مقایسه با دو خاک دیگر نگهداری می‌شود (توجه داشته باشید که پتانسیل آب دو خاک در مقیاس لگاریتمی ترسیم شده است). میزان رس در یک خاک تا حد زیادی تعیین‌کننده‌ی نسبت ریز منافذ[3] بسیار کوچک در آن خاک می‌باشد. همان‌طورکه خواهیم دید، حدود نصف آب نگهداری شده به‌وسیله‌ی خاک‌های رسی چنان در این ریز منافذ به‌شدت نگهداری می‌شوند به‌وسیله‌ی گیاهان درحال رشد نمی‌توانند آن‌را خارج شوند. بافت خاک به‌طور آشکار تأثیر عمده‌ای بر نگهداری رطوبت خاک اعمال می‌کند.

ساختمان خاک نیز در روابط میزان آب و انرژی تأثیرگذار است. یک خاک با ساختمان خاکدانه‌ای مناسب دارای حجم کل منافذ بیشتر و ظرفیت کل نگهداری آب بیشتری در مقایسه با خاک دارای ساختمان خاکدانه‌ای ضعیف و یا خاک متراکم می‌باشد. حجم کل منافذ خاک بیشتر بیانگر ظرفیت کل نگهداری آب بیشتر می‌باشد. به‌علاوه همان‌طورکه در بخش ٦-٤ شرح دادیم، افزایش تخلخل در خاک‌های دارای ساختمان مناسب عمدتاً درنتیجه‌ی مقدار بیشتری از منافذ درشت می‌باشد که در آن‌ها آب با شدت کمتری نگهداری می‌شود. خاک‌های متراکم آب کل کمتری را نگهداری کرده اما احتمالاً دارای نسبت بیشتری از منافذ کوچک و متوسط می‌باشد که آب را با شدت بیشتری از منافذ درشت نگهداری می‌کند. بنابراین، ساختمان خاک در شکل منحنی‌های مشخصه آب در فاصله‌ی پتانسیل‌های صفر تا ۱۰۰ کیلوپاسکال به‌طور غالب تأثیرگذار است. شکل منحنی‌های رطوبتی در فاصله پتانسیل‌های باقی‌مانده معمولاً بیانگر تأثیر بافت می‌باشد. منحنی‌های مشخصه آب خاک در شکل ۱۲-۵ دارای ارزش عملی قابل‌توجهی برای اندازه‌گیری‌ها و فرایندهای مزرعه می‌باشند. در مباحث بعد که جنبه‌های عملی رفتار آب خاک مورد بررسی قرار خواهند گرفت این منحنی‌ها برای مراجعه مفید خواهند بود.

---

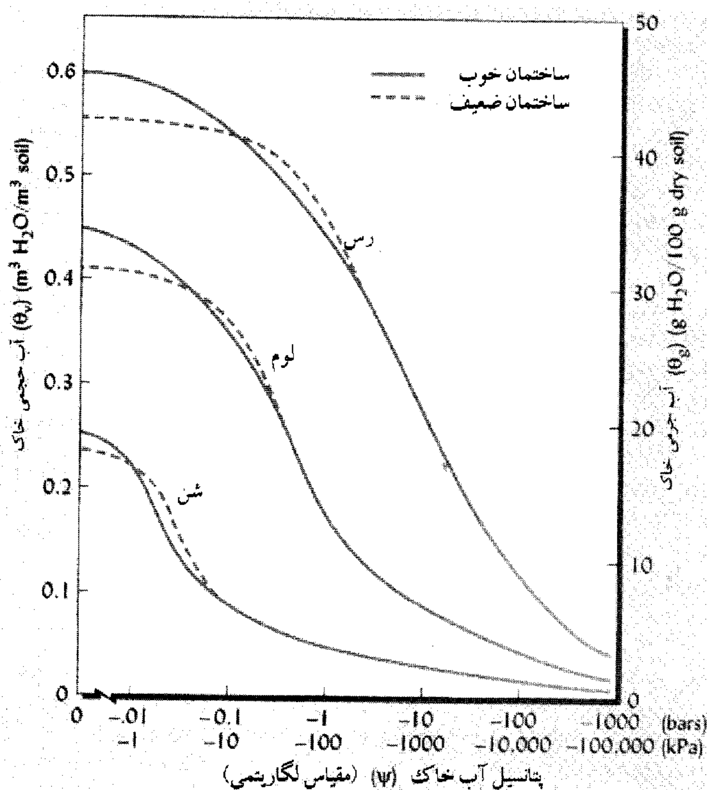
[1] - Bar

[2] - water released characteristic curves

[3] - micropores

جدول ۱-۵ برابری تقریبی واحدهای بیان پتانسیل آب خاک

ارتفاع ستون آب cm	پتانسیل آب خاک برحسب بار	پتانسیل آب خاک برحسب کیلوپاسکال
۰	۰	۰
۱۰/۲	-/۰۱	-۱
۱۰۲	-/۱	-۱۰
۳۰۶	-/۳	-۳۰
۱۰۲۰	-۱	-۱۰۰
۱۵۳۰۰	-۱۵	-۱۵۰۰
۳۱۷۰۰	-۳۱	-۳۱۰۰
۱۰۲۰۰۰	-۱۰۰	-۱۰۰۰۰



شکل۱۲-۵ منحنی پتانسیل آب خاک برای سه خاک معدنی شاخص. منحنی‌ها رابطه‌ی به‌دست آمده را در خاک‌های کاملاً اشباع که به‌تدریج خشک شده‌اند نشان می‌دهند خطوط منقطع اثر تراکم و یا ساختمان‌های نامناسب را عرضه می‌کنند. پتانسیل آب خاک Ψ (که منفی است) بر حسب بار (مقیاس بالایی) و کیلو پاسکال (مقیاس پایین) بیان شده است توجه داشته باشید که پتانسیل آب خاک در مقیاس لگاریتمی ترسیم شده است.

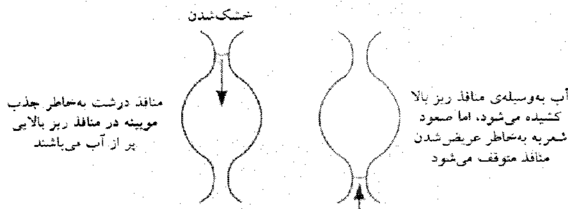
پس‌ماند[1]

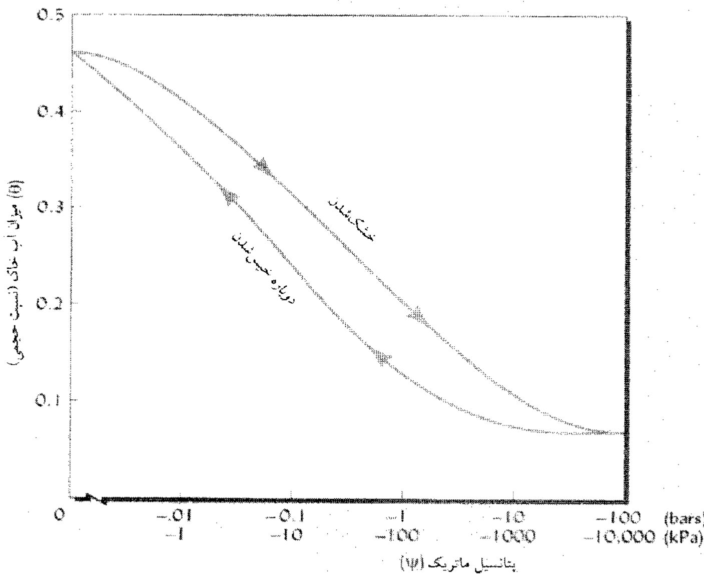
رابطه بین میزان آب و پتانسیل آب خاک هنگام خشک‌شدن با رابطه آن هنگام تر شدن مقداری متفاوت است این پدیده که پس‌ماند نامیده می‌شود در شکل ۱۳-۵ تشریح شده است. پس‌ماند به‌دلیل عوامل متعددی ایجاد می‌شود که از آن جمله غیریکنواختی منافذ می‌باشد هنگام مرطوب‌شدن خاک آب در بعضی از منافذ کوچک وارد نشده و سبب باقی ماندن هوای محبوس می‌شود که از نفوذ آب جلوگیری می‌کند. به‌همین ترتیب وقتی خاک اشباع شده خشک می‌شود بعضی از منافذ درشت که ممکن‌است به‌وسیله‌ی منافذ ریز احاطه شده باشند، اثرات گلوگاهی[2] ایجاد کرده و تا پایین‌آمدن پتانسیل ماتریک که بتواند آب را از لوله‌های کوچک خارج سازد آب خود را نگهداری می‌کنند

---

[1] - Hysteresis
[2] - Bottleneck effect

(شکل ۱۳-۵). انبساط و انقباض رس‌ها وقتی خاک خشک شده و مجدداً مرطوب می‌شود تغییراتی را در ساختمان خاک ایجاد می‌کند که در روابط آب- خاک مؤثر است. پس‌ماند از این نظر مهم است که وقتی خصوصیات خاکی را با خاک دیگر مقایسه می‌کنم باید بدانیم که خاک درحال ترشدن است و یا درحال خشک‌شدن.





شکل ۱۳-۵ رابطه‌ی بین میزان آب خاک و پتانسیل ماتریک در هنگام خشک‌شدن و یا ترشدن مجدد. پدیده‌ای که پس‌ماند نامیده می‌شود ظاهراً در اثر عواملی مانند غیریکنواختی منافذ خاک، هوای محبوس شده و انقباض و انبساط است که ممکن‌است در ساختمان خاک مؤثر باشند، ایجاد می‌شود. اشکال اثر غیریکنواختی منافذ را نشان می‌دهد.

تعیین وضعیت آب خاک

منحنی‌های مشخصه آب خاک که هم اکنون مورد بحث قرار گرفت، اهمیت دو نوع اندازه‌گیری کلی رطوبت خاک، یعنی مقدار آب موجود (میزان آب خاک)، و وضعیت انرژی آب (پتانسیل آب خاک) را روشن می‌کند. برای فهم و یا مدیریت میزان فراهم‌کردن آب و حرکت آن در خاک‌ها ضروری است که دارای اطلاعات لازم (به‌طور مستقیم اندازه‌گیری شده و یا برآورد شده) از هر دو نوع اندازه‌گیری باشیم. برای مثال، اندازه‌گیری پتانسیل آب ممکن‌است به‌ما بگوید احتمالاً آب به‌طرف سفره آب زیرزمینی حرکت می‌کند، اما بدون اندازه‌گیری میزان آب خاک مربوطه معنی‌داربودن این پتانسیل برای تغذیه آب زیرزمینی مشخص نخواهد شد.

به‌طور کلی، رفتار آب خاک در ارتباط بسیار نزدیک با وضعیت انرژی آب است نه با مقدار آب موجود در خاک. بنابراین، یک خاک رسی و یک خاک شن لومی هر دو وقتی مرطوب به‌نظر آمده و آب لازم را به آسانی برای گیاهان فراهم می‌کنند که پتانسیل ماتریک Ψ_m آن‌ها در حدود ۱۰- کیلوپاسکال باشد. هر چند میزان آب نگهداری شده به‌وسیله‌ی خاک رسی و مدت زمانی که آب را برای گیاهان فراهم می‌کند در این پتانسیل به‌مراتب بیشتر از خاک شن لومی می‌باشد.

ما روش‌های مختلفی را برای انجام این دو نوع اندازه‌گیری مورد بررسی قرار خواهیم داد. محققین، مدیران اراضی و مهندسین ممکن‌است ترکیبی ازاین روش‌ها را برای مطالعه ذخیره وحرکت آب درخاک، مدیریت نظام‌های آبیاری و برآورد رفتار فیزیکی خاک‌ها به‌کاربرند.

اندازه‌گیری مقدار آب خاک

مقدار حجمی آب خاک θ_v[1] به‌عنوان حجمی از آب که در حجم مشخص (معمولاً ۱ مترمکعب) خاک خشک وجود دارد تعریف می‌گردد (شکل ۱۲-۵ را مشاهده کنید). یک اصطلاح قابل‌مقایسه مقدار جرمی آب خاک θ_m[2] بوده که عبارت از جرم آب در یک جرم

1 - Volumetric soil water content
2 - Mass soil water content

مشخص (معمولاً ۱ کیلوگرم) خاک خشک می‌باشد هر کدام از این اصطلاحات در استفاده‌های مختلف از مزایایی برخوردارند. در اکثر موارد در این کتاب از مقدار حجمی آب استفاده می‌کنیم.

از آن‌جاکه فکر می‌کنیم در مزرعه یک نظام ریشه نبات آب موجود در عمق به‌خصوص از خاک را استخراج می‌کند و از آن‌جاکه، بارندگی (وبعضی مواقع آبیاری) را بر حسب عمق آب (برای نمونه میلیمتر باران) بیان می‌کنیم، اغلب راحت‌تر است که مقدار حجمی آب را بر حسب نسبت عمق (عمق آب در واحد عمق خاک) بیان کنیم. میزان عددی این دونوع اصطلاح برابر می‌باشد. برای نمونه خاکی که دارای ۰/۱ مترمکعب آب در یک مترمکعب خاک خشک(۰/۱۰ حجمی آب) دارای نسبت عمق آب ۰/۱ در ۱ متر عمق خاک می‌باشد[1].

روش وزنی : روش وزنی یک روش مستقیم اندازه‌گیری میزان آب خاک بوده و بنابراین این یک روش استاندارد است که با آن تمام روش‌های غیرمستقیم اندازه‌گیری رطوبت واسنجی می‌گردند. آب موجود در جرم مشخص (اگر وزن مخصوص ظاهری مشخص باشد در حجم مشخص) ذرات جامد خاک دراین روش تعیین می‌گردد. یک نمونه از خاک مرطوب وزن شده و در یک کوره با درجه حرارت ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲٤ ساعت[2] خشک شده و در آخر توزین می‌گردد میزان ازدست‌رفتن وزن بیانگر مقدار رطوبت خاک است. تابلو ۲-۵ مثال‌هایی از طرز محاسبه θ_v و θ_m ارائه می‌دهد. روش وزنی یک روش مخرب است(نمونه‌های خاک در هر اندازه‌گیری دور ریخته می‌شوند) و قابلیت خودکارشدن را ندارد، بنابراین، برای مشاهده‌ی تغییرات در رطوبت خاک نامناسب می‌باشد. روش‌های متعدد غیرمستقیم برای اندازه‌گیری، که غیرمخرب بوده و به آسانی دارای قابلیت خودکارشدن بوده و در مزرعه بسیار مفید می‌باشد در جدول ۲-۵ آمده است.

پخش نوترون[3]: یک میله‌ی پخش نوترون که از داخل لوله آلومینیومی قبلاً نصب شده در داخل خاک به پایین برده می‌شود (شکل ۱۵-۵)، دارای منبع تولید نوترون‌های سریع و یک دستگاه آشکارگر نوترون‌های کند است. وقتی نوترون‌های سریع به اتم‌های هیدروژن (که اعظم آن‌ها بخشی از مولکول آب می‌باشند) برخورد می‌کنند، سرعت آن‌ها کاهش یافته و پراکنده می‌شوند. تعداد اتم‌های شمارش شده به‌وسیله‌ی آشکارگر در ارتباط با میزان آب خاک است. در صورت واسنجی این اندازه‌گیری‌ها، با رطوبت خاک موردنظر، کار با دستگاه آسان بوده و نتایج دقیقی درخاک‌های معدنی ارایه می‌کند (جدول ۲-۵ را مشاهده کنید). هرچند در خاک‌های آلی روش دارای دقت کمتر می‌باشد، زیرا نوترون‌ها با بسیاری از اتم‌های هیدروژن که در ترکیب مواد آلی است نه در مولکول آب برخورد می‌کنند.

بازتاب‌سنجی زمانی[4]: یک روش نسبتاً جدید به‌نام TDR دو عامل را اندازه می‌گیرد: ۱- زمان لازم برای حرکت روبه‌پایین یک نیروی محرکه آنی الکترومغناطیسی از دو میله موازی هادی فلزی (هادی موج) که در داخل خاک نصب شده‌اند، و ۲- میزان کاهش نیروی محرکه در انتهای میله‌ها هنگام برخورد به خاک. زمان انتقال در ارتباط با ضریب دی‌الکتریک[5] ظاهری خاک است که خود را در ارتباط با میزان آب خاک است. کاهش علایم موج در ارتباط با میزان نمک در محلول خاک است بنابراین دستگاه می‌تواند هم میزان آب و هم میزان شوری را اندازه‌گیری کند.

میله‌های هادی موج TDR یا قابل‌حمل بوده(در هر قرائت باید در داخل خاک نصب گردند) و یا در عمق‌های مختلف خاک برای همیشه نصب گردیده و به‌وسیله‌ی کابل به جعبه‌ی تجهیزات که در آن وسیله اندازه‌گیری یا داتا لوگر رایانه‌ای نصب شده است وصل می‌شود. TDR داری چنان تجهیزات کامل الکترونیکی و نرم‌افزارهای رایانه‌ای می‌باشند که قادر است تغییرات بسیارکوچک ولتاژ را در فواصل زمانی پیکوثانیه (10^{-12} ثانیه) به‌طور دقیق اندازه‌گیری کند. این وسیله به‌رغم گرانی می‌تواند بدون واسنجی مکرر و سنجش در اکثر خاک‌ها برای به‌دست آوردن قرائت‌های دقیق در تمام مقادیر آب مورد استفاده قرار گیرد.

1 – وقتی مقدار آب داده شده به‌خاک به‌وسیله‌ی آبیاری اندازه‌گیری می‌شود به‌طور معمول از واحدهای حجمی مانند متر مکعب و یا هکتارمتر(حجم آبی که یک هکتار را با عمق ۱ متر می‌پوشاند) استفاده می‌شود. زارعین و مرتع داران در مناطق تحت آبیاری در ایالات متحده از واحد انگلیس فوت مکعب و یا اکرفوت استفاده می‌کنند.

2 – زمان لازم برای خشک‌شدن باید فراهم گردد به‌طوری‌که ازدست‌رفتن رطوبت خاک متوقف شده و وزن خاک ثابت گردد. برای صرفه جویی در زمان از یک کوره میکروویو می‌توان استفاده کرد. حدود ۱۲ نمونه کوچک خاک (هر یک حدود ۲۰ گرم) در استوانه‌های شیشه‌ای در یک کوره ۱۰۰۰ وات با صفحه گردان در ۳ دوره متوالی ۳ دقیقه‌ای و بالاترین توان کوره می‌توان خشک کرد.

3 - Neutron scattering

4 - Time domine reflectometry

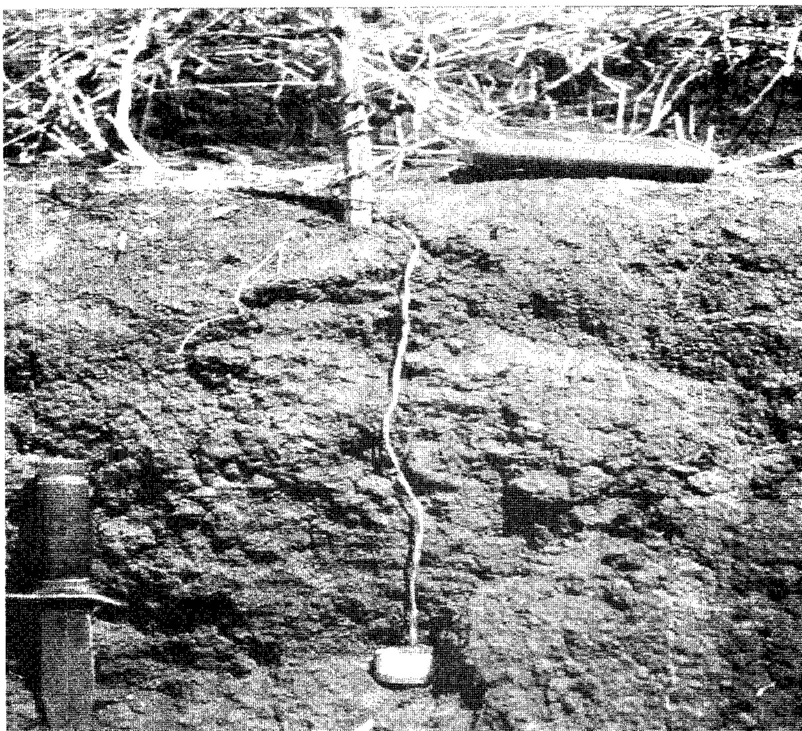
5 - Dielectric constant

اندازه‌گیری پتانسیل آب خاک

واکنش‌سنج[1] : میزان کششی که به‌وسیله‌ی آن، آب در خاک نگهداری می‌شود معرف پتانسیل آب خاک Ψ می‌باشد. واکنش‌سنج‌های صحرایی(شکل۱۷-۵) این کشش و یا مکش را اندازه‌گیری می‌کنند. واکنش‌سنج اساساً یک لوله پر شده از آب است که انتهای آن به‌وسیله‌ی یک کلاهک سفالی بسته شده است. بالای واکنش‌سنج به‌وسیله‌ی سرپوش در مقابل نفوذ هوا پوشیده شده است. با قراردادن واکنش‌سنج در خاک، آب داخل واکنش‌سنج از طریق کلاهک متخلل به خاک مجاور وارد شده تا هنگامی‌که پتانسیل آب در واکنش‌سنج مساوی پتانسیل ماتریک خاک شود. با خارج‌شدن آب، مکش در زیر سرپوش ایجاد می‌شود که می‌تواند به‌وسیله‌ی یک مکش‌سنج، و یا مبدل الکترونیکی اندازه‌گیری شود. اگر بارندگی و یا آبیاری خاک را مجدداً مرطوب کند آب از طریق کلاهک سفالی به‌داخل واکنش‌سنج وارد می‌شود و سبب کاهش مکش و یا کشش ثبت شده به‌وسیله‌ی مکش‌سنج می‌شود.

واکنش‌سنج در فاصله صفر تا ۸۵- کیلوپاسکال مفید می‌باشد، دامنه‌ای که نصف و یا حتی بیش ازنصف آب ذخیره شده در خاک را شامل می‌شود. واکنش‌سنج‌های آزمایشگاهی که صفحات مکش نامیده می‌شود در دامنه‌ی پتانسیل مشابه با واکنش‌سنج‌های صحرایی کار می‌کنند. وقتی خاک کمتر از ۸۰- تا ۸۵- کیلوپاسکال خشک می‌شود واکنش‌سنج از کار باز می‌ماند، زیرا هوا از طریق منافذ سفال داخل واکنش‌سنج شده و سبب از بین‌رفتن مکش می‌شود. یک کلید سلونویید می‌تواند در یک واکنش‌سنج صحرایی برای روشن‌کردن و خاموش‌کردن نظام آبیاری به‌طور خودکار نصب گردد.

قطعات مقاومت الکتریکی[2]: روش قطعات مقاومت الکتریکی از قطعات کوچک متخلخل گچ، نایلون و یا پشم‌شیشه[3] که درآن الکترودهایی به خوبی کار گذاشته شده است استفاده می‌کند. وقتی‌که قطعه در داخل خاک مرطوب قرار داده می‌شود و مقداری آب را در ارتباط با میزان پتانسیل آب خاک جذب می‌کند، مقاومت آن درمقابل جریان الکتریکی بین الکترودهای کار گذاشته شده به نسبت کاهش می‌یابد (شکل ١٤-٥). دقت و دامنه‌ی مقدار رطوبت اندازه‌گیری شده به‌وسیله‌ی این وسیله محدود می‌باشد (جدول شماره۲-۵)، هرچند این وسیله ارزان بوده و می‌تواند برای اندازه‌گیری تغییرات تقریبی رطوبت خاک در طول یک یا چند فصل زارعی به‌کار رود. امکان ارتباط آن‌ها با کلیدهای الکترونیکی وجودداشته بنابراین نظام‌های آبیاری می‌تواند به‌طور خودکار درمقادیر مشخص رطوبت خاک خاموش‌وروشن شوند.



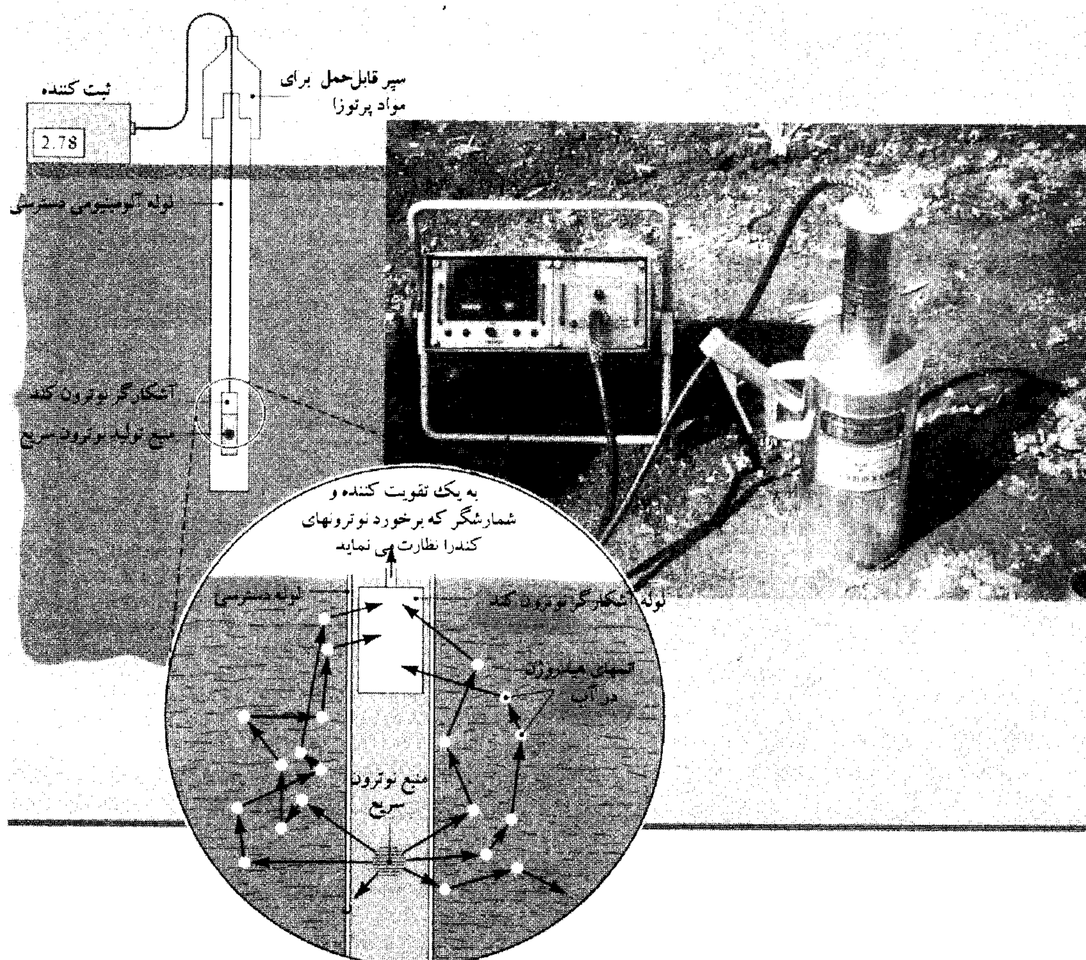
شکل١٤-٥ نمایی از قطعه‌ی گچی مقاومت الکتریکی تجاری که در عمق ٤٥ سانتی‌متری ازسطح خاک قرار گرفته است. سیم‌هایی از قطعه گچی به سطح امتداد یافته و در آن‌جا می‌تواند به دستگاه مقاومت سنج وصل گردد. در اکثر کاربردها قطعات متعددی باید در عمق‌های مختلف در سرتاسر عمق انتشار ریشه جایگذاری شوند.

---

[1] - Tentiometer
[2] - Electrical resistance blocks
[3] - Fiberglass

نم‌سنج افتراق حرارتی(ترموکوپل سایکرومتر[1]): از آنجاکه ریشه گیاهان هنگام جذب آب ازخاک باید بر هر دو نیروی ماتریک و اسمز غلبه کنند در بعضی مواقع به‌وسیله‌ای نیازمندیم که هر دو نیرو را اندازه‌گیری کند. رطوبت نسبی هوای خاک تحت تأثیر هر دونیروی ماتریک و اسمز است زیرا هر دو از فرار مولکول‌های آب ازمحلول خاک جلوگیری می‌کنند.

در ترموکوپل سایکرومتر، یک اتصال ترموکوپل (دو فلز غیرمشابه که رأس‌های آن‌ها به‌هم وصل شده است درصورت قرارگرفتن در دماهای مختلف یک نیروی محرک الکتروموتیو متناسب با اختلاف دما القا می‌شود) در یک محفظه سفالی نازک (حدود ۵ میلی‌متر) چنان سرد می‌شود که یک قطره اب در روی آن متراکم گردد. وقتی جریان قطع می‌شود قطره آب با نرخی که در ارتباط با عکس رطوبت نسبی هوای اطراف است (که آن نیز در ارتباط با پتانسیل آب خاک است) تبخیر می‌شود ولتاژ ایجاد شده در اثر تبخیر قطره آب به پتانسیل آب و خاک ($\psi_o + \psi_m$) تبدیل می‌شود. ترموکوپل سایکرومتر در خاک‌های نسبتاً خشک بالاترین فایده را دارد زیرا حساسیت دستگاه که ۵۰- تا ۵۰+ کیلوپاسکال است در این خاک‌ها مقادیر قابل‌اعماض آب را شامل می‌شود.



شکل ۱۵-۵ دستگاه نوترون متر چگونه کار می‌کند. لوله‌ای که شامل منبع تولید نوترون سریع و دستگاه اشکارگر نوترون آرام است از داخل یک لوله‌ی معمولاً آلومینیومی به پایین خاک فرستاده می‌شود. نوترون‌ها به‌وسیله‌ی منبع تولید (رادیوم و یا امریسیوم - بریلیوم) در سرعت بسیار بالایی منتشر می‌شوند(نوترون سریع). وقتی این نوترون‌ها با یک اتم کوچک مانند هیدروژن موجود در آب خاک برخورد می‌کنند مسیر حرکت آن‌ها عوض شده و مقداری از انرژی خود را ازدست می‌دهند. نوترون‌های آرام به‌وسیله‌ی یک آشکارگر وشمارش‌گر اندازه‌گیری می‌شوند مقدار قرائت‌شده در ارتباط با میزان رطوبت خاک است. تصویر نشان‌دهنده‌ی یک نوترون متر در صحراست. استوانه سنگین فلزی سپری است که فرد اندازه‌گیر را از تابش مواد پرتوزا حفاظت می‌کند. این استوانه بر روی حفره‌ی لوله‌گذاری شده با آلومینیوم قرار داده می‌شود(در منتهی‌الیه سمت راست) و منبع تولید نوترون از داخل لوله‌ی آلومینیوم در داخل حفره پایین فرستاده می‌شود تا اندازه‌گیری تحقق یابد.

[1] - Thermocouplc psychrometer

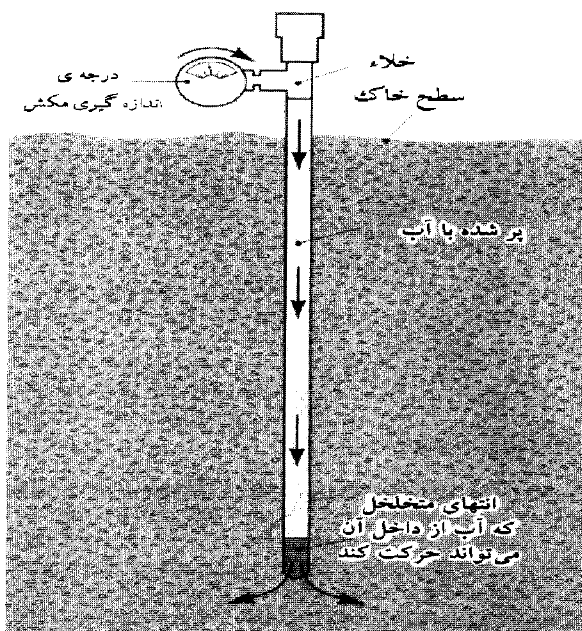
جدول ۲-۵ بعضی از روش‌های اندازه‌گیری آب خاک

توجه کنید که بیش از یک روش برای پوشش تمام دامنه شرایط رطوبتی خاک مورد نیاز می‌باشد

روش	اندازه‌گیری		دامنه استفاده مفید کیلوپاسکال kpa	استفاده عمده		توضیحات لازم
	میزان رطوبت	پتانسیل		مزرعه	آزمایشگاه	
وزن‌سنجی	×		-۱۰۰۰۰ > تا ۰		×	به‌هم زدن مزرعه، روش کند (۱ تا ۲روز) مگر از میکروویواستفاده شود. روش استاندارد برای واسنجی سایر روش‌ها
قطعات گچی		×	-۱۵۰۰ > تا -۱۰۰	×		در نزدیکی آب قابل استفاده نبات حساس نیست می‌تواند خودکار شود
پخش نوترون	×		-۱۵۰۰ > تا ۰	×		نیازمند کسب اجازه تابش اشعه، گرانقیمت بوده و برای خاک‌های دارای ماده آلی زیاد مناسب نیست. نیازمند لوله‌های دسترسی آلومینیومی است
TDR	×		-۱۰۰۰۰ > تا ۰	×	×	می‌تواند خودکار شود، دقت ۱ کیلوپاسکال ، نیازمند میله‌های راهنمای موج است و گران قیمت می‌باشد
مکش‌سنج		×	-۸۵ تا ۰	×		دقت ۱-۰/۱ کیلوپاسکال دامنه استفاده محدود، ارزان می‌تواند خودکار شود نیازمند سرویس می‌باشد
ترموکوپل سایکرومتر		×	-۱۰۰۰۰ > تا ۵۰	×	×	دقت ۵۰ ± کیلوپاسکال دامنه استفاده گسترده، نسبتاً ارزان
غشاء فشاری		×	-۱۰۰۰۰ > تا ۵۰		×	همراه با روش وزن‌سنجی برای تهیه‌ی منحنی‌های رطوبتی خاک به‌کار می‌رود



شکل ۱۶-۵ اندازه‌گیری میزان آب خاک با استفاده از دستگاه TDR دستگاه الکترونیکی پالس‌های انرژی الکترومغناطیسی را از دو میله‌ی فلزی هادی موج که در زمین کار گذاشته می‌شود ارسال می‌دارد. دستگاه TDR اندازه‌گیری‌های دقیقی از سرعت حرکت پالس ازداخل میله‌ها به‌طرف پایین در پیکوثانیه(10^{-12} ثانیه) ارسال می‌دارد. این سرعت تحت تأثیر خاک در اطراف میله‌ها می‌باشد. ریزپردازشگرها در دستگاه حالت‌های موج ایجاد شده را تجزیه تحلیل کرده و ثابت دی‌الکتریک ظاهری خاک را اندازه‌گیری می‌کنند. از آن‌جاکه ثابت دی‌الکتریک آب خاک عمدتاً تحت تأثیر میزان آب آن است دستگاه می‌تواند اندازه‌گیری‌های خود را به‌درستی به میزان حجمی آب خاک تبدیل کند.



شکل۱۷-۵ روش مکش‌سنجی برای تعیین پتانسیل آب خاک در مزرعه. مقطع قائم نشان‌دهنده اجزای اصلی یک مکش‌سنج است. آب در انتهای متخلخل دستگاه در پاسخ به مکش (پتانسیل ماتریک) خاک حرکت می‌کند. مکش ایجاد شده به‌وسیله‌ی درجه اندازه‌گیری برحسب سانتی بار(کیلوپاسکال) قرائت می‌شود(پتانسیل آب برحسب kPa-)

دستگاه غشاء فشاری[1]: این دستگاه (شکل ۱۸-۵)، برای قراردادن خاک در پتانسیل ماتریک از بسیار کم تا حدود ۱۰۰۰۰ کیلوپاسکال مورد استفاده قرار می‌گیرد. بعد از قراردادن مجموعه‌ای از خاک‌ها در پتانسیل ماتریک خاص میزان آب آن‌ها به‌وسیله‌ی روش وزن‌سنجی مشخص می‌شود. این وسیله‌ی مهم آزمایشگاهی اندازه‌گیری‌های درستی از میزان آب خاک در دامنه وسیعی از پتانسیل ماتریک در مدت زمان کوتاهی به‌دست می‌دهد. این دستگاه با صفحات مکشی[2] برای به‌دست‌آوردن اطلاعات لازم برای ترسیم منحنی‌های رطوبتی خاک، مانند آن‌چه که در شکل ۱۲-۵ آمده است به‌کار می‌روند.

تابلو ۲-۵ روش وزن‌سنجی مقدار آب خاک

مراحل وزن‌سنجی برای تعیین مقدار آب خاک نسبتا آسان می‌باشد. فرض کنید که شما می‌خواهید میزان آب موجود در یک نمونه خاک مرطوب ۱۰۰ گرمی را به‌دست آورید. نمونه را دریک کوره در ۱۰۵ دما به‌مدت ۲۴ ساعت قرار داده و پس آن‌را وزن کنید. فرض کنید که وزن خاک خشک حال ۷۰ گرم باشد، بیانگر این است که ۳۰ گرم آب از خاک مرطوب جدا شده است، برحسب کیلوگرم این مقدار ۳۰ کیلوگرم در ۷۰ کیلوگرم خاک خشک است، از آن‌جاکه جرم آب خاک θ_m بر حسب کیلوگرم آب موجود در ۱ کیلوگرم خاک خشک (نه ۱ کیلوگرم خاک مرطوب) بیان می‌شود می‌توان به‌شرح زیر عمل کرد:

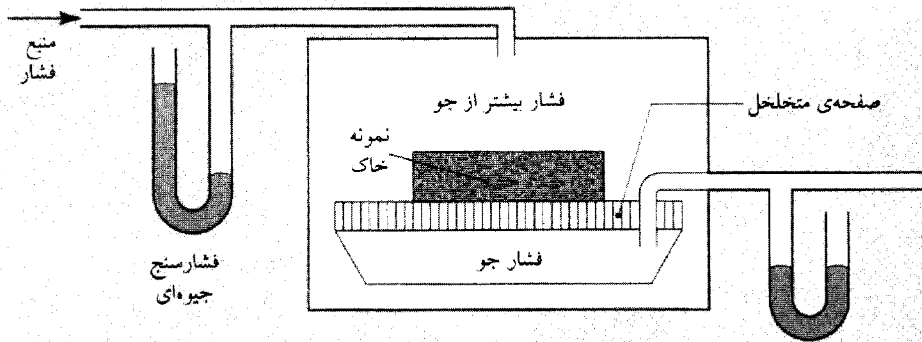
$$\frac{\text{کیلوگرم آب}}{\text{کیلوگرم خاک خشک}} \quad \theta_m = ۰/۴۲۸= \quad \frac{۳۰}{۷۰} \quad x= \leftarrow \quad \frac{\text{X کیلوگرم آب}}{\text{کیلوگرم خاک خشک}} = \frac{\text{۳۰ کیلوگرم آب}}{\text{۷۰ کیلوگرم خاک خشک}}$$

برای محاسبه مقدار حجمی آب خاک θ_v، نیازمندیم که وزن مخصوص ظاهری خشک را بدانیم که دراین مورد فرض می‌کنیم ۱/۳ مگاگرم در مترمکعب باشد. یک مترمکعب در این خاک ۱۳۰۰ کیلو وزن دارد. از محاسبات فوق‌الذکر می‌دانیم که جرم آب همراه با این ۱۳۰۰ کیلوگرم خاک ۵۵٦ کیلوگرم (٤۲۸/.×۱۳۰۰) می‌باشد. ازآن‌جاکه ۱ مترمکعب آب ۱۰۰۰ کیلوگرم وزن دارد، ۵۵٦ کیلوگرم آب،حجمی معادل ۰/۵۵٦ مترمکعب را اشغال می‌کند (۱۰۰۰÷ ۵۵٦) بنابراین مقدار حجمی رطوبت ۰/۵۵٦ مترمکعب در هر مترمکعب خاک خشک است:

$$\Theta_v = \frac{\text{۵۵٦ مترمکعب آب}}{\text{۱ متر مکعب خاک}} = \frac{\text{۰/٤۲۸کیلوگرم آب}}{\text{۱ کیلوگرم خاک}} \times \frac{\text{۱ مترمکعب آب}}{\text{۱۰۰۰ کیلوگرم آب}} \times \frac{\text{۱۳۰۰ کیلوگرم خاک}}{\text{۱ متر مکعب خاک}}$$

رابطه بین مقدار وزنی و حجمی آب می‌تواند به صورت زیر خلاصه شود. $\theta_v = \theta_m \times D_b$

[1] - Pressure membreane apparatus
[2] - Tension plate



شکل ۱۸-۵ دستگاه غشای فشاری که برای تعیین روابط مقدار آب خاک با پتانسیل، ماتریک در خاک به‌کار می‌رود. یک منبع گاز بیرونی سبب ایجاد فشار در داخل محفظه شده و آب خاک با فشار از طریق یک صفحه متخلخل به‌داخل یک محفظه دیگر که در آن فشار نیوار حکم‌فرماست، فرستاده می‌شود. فشار اعمال‌شده وقتی جریان آب متوقف می‌شود میزان پتانسیل آب خاک را مشخص می‌سازد. این دستگاه پتانسیل‌های بسیار پایینی (خاک خشک) را درمقایسه با مکش‌سنج‌ها صفحات مکش می‌تواند اندازه‌گیری کند.

۵-۵ جریان آب مایع در خاک

سه نوع حرکت در خاک مشخص شده است که عبارتنداز: (۱) جریان اشباع (۲) جریان غیراشباع (۳) حرکت بخار. در تمام سه مورد آب در پاسخ به شیب پتانسیل حرکت کرده و آب از منطقه‌ای که دارای پتانسیل بالاست به منطقه‌ای کـه دارای پتانسـیل پـایین اسـت جریـان می‌یابد. جریان اشباع وقتی انجام می‌گیرد که منافذ خاک به‌طور کامل مملو از آب(اشباع) می‌باشند. جریان غیراشباع وقتی صورت می‌گیـرد که منافذ درشت در خاک از هوا پر شده و منافذ کوچک نگهداری و انتقال آب را به‌عهده دارند. وقتی اختلاف فشار بخار در خـاک نسـبتاً خشک ایجاد می‌شود حرکت بخار آب آغاز می‌گردد.

جریان اشباع در داخل خاک‌ها

تحت بعضی از شرایط ممکن‌است حداقل بخشی از خاکرخ کاملاً اشباع شده باشد، بدین‌معنی که تمام منافذ کوچک و بـزرگ آن از آب پر هستند. افق‌های پایین خاک‌های دارای زه‌کشی ضعیف اغلب اشباع می‌باشند. همین‌طور بخش‌هایی از خاک دارای زه‌کشی خوب کـه در خاک‌های مطبق رسی قرار دارند اشباع هستند. همزمان با یک بارندگی سنگین و انجام آبیاری و یا بلافاصله بعد از آن‌هـا، خلـل و فـرج در لایه‌های فوقانی خاک اغلب و به‌طور کامل از آب پر می‌شوند.

هدایت آبی اشباع:[1] مقدار آبی که در واحد زمان (Q) که از یک ستون خاک اشباع می‌گذرد می‌تواند به‌وسیله‌ی قانون دارسی به‌شرح زیر بیان شود:

$$Q = K_{Sat} . A . \Delta P / L$$

که درآن K_{Sat} ضریب هدایت آبی اشباع(ویژگی انحصاری هرخاک)، A سطح مقطع ستونی که آب از آن عبور می‌کند، ΔP اختلاف فشار ایستابی بالا و پایین ستون آب‌گذری، L طول ستون. از آن‌جاکه A و L در یک ستون خاک ثابت می‌باشد میزان جریان به‌وسیله‌ی نیروی آبی (هیدرولیکی) ΔP، که سبب رانش آب به‌داخل خاک می‌شود (معمولا نیروی ثقل) و ضریب هدایت آبی اشباع و یـا سـهولت عبـور آب از منافذ، تعیین می‌گردد. درمقایسه شخص می‌تواند آب‌گذری در خاک را مشابه پمپاژ آب در داخل یک لوله نرم آبیاری باغچـه در نظـر آورد که در آن K_{Sat} بیانگر قطر لوله (آب با آسانی بیشتری از یک لوله بزرگ عبور می‌کند) و ΔP بیانگر اندازه پمپی است کـه آب را از داخـل لوله عبور می‌دهد.

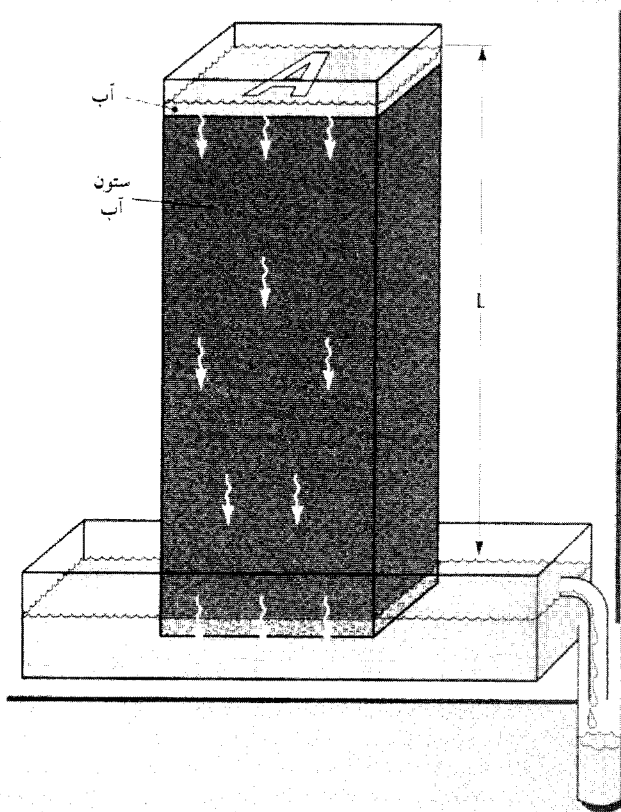
ضریب هدایت آبی اشباع (K_{Sat}) یک خاک یکنواخت طی زمان به‌خوبی ثابت باقی می‌ماند (با فرض این‌که خاک در این مدت متراکم نشده و به‌هم نخورده باشد). مقدار K_{Sat} درارتباط با اندازه و طرز قرارگرفتن منافذ خاک است که تمام آن‌ها از آب مملو می‌باشد ایـن امـر در تضاد با ضریب آب‌گذری خاک‌های غیراشباع است که با کم‌شدن میزان آب خاک کاهش می‌یابد.

---

1 - Saturated hydraulic conductivity

شیب آبی[1]: درمورد حرکت اشباع قائم (شکل ۱۹-۵)، نیروی رانش که شیب آبی ΔP شناخته می‌شود ومساوی h/L است، کـه مسـاوی نسبت اختلاف ارتفاع سطح آب در بالا و پایین ستون خاک به طول ستون خاک می‌باشد. حجم آبی که از ستون آب به پایین حرکت می‌کند از حاصلضرب این نیرو با سطح مقطع A که جریان از داخل آن می‌گذرد و با ضریب هدایت آبی اشباع (K_{Sat}) به‌دست می‌آید.

از شکل ۱۹-۵ نباید استنباط کرد که جریان اشباع فقط به‌طرف پایین خاکرخ انجام می‌گیرد نیروی آبی همین‌طور می‌تواند جریان افقی و یا حتی روبه بالا را سبب گردد، وقتی آب زیرزمینی به یک رودخانه می‌رسد این حرکت صورت می‌گیرد (بخـش ۸-٦ را مشـاهده کنیـد)، گرچه میزان این جریان معمولاً چندان سریع نیست، زیرا نیروی ثقل در جریان افقی تأثیری ندارد و مانع از جریان روبه بالاست. حرکت ثقلی (به‌طرف پایین) و حرکت افقی در شکل ۲۰-۵ نشان داده شده است، که درآن جریان آب از یک جویچه آبیاری در دو نوع خاک لوم شنی و لوم رسی ثبت شده است.آب درداخل خاک لومی بسیار سریع‌تر از خاک لوم رسی به طرف پایین حرکت کرده است. از طرف دیگر حرکت افقی، (که عمدتاً براثر حرکت غیراشباع انجام می‌گیرد) در خاک لوم رسی بسیار بارزتر است.



شکل ۱۹-۵ جریان اشباعی (نفـوذ عمقـی) در یـک ستون خاک با سطح مقطعA. تمام منافذ خـاک مملـو از آب است. نیروی رانش آب در داخـل خـاک H، که اختلاف دربین ارتفاع آب بالا و پایین ستون خاک می‌باشد. این نیرو نیز می‌تواند در مسیر افقـی اعمـال گردد. در شکل نشان داده شده است که آب به داخل یک ظرف کناری جریان یافته و مشخص می‌کند کـه اب در واقع به‌طرف پایین نیمرخ حرکت می‌کند.

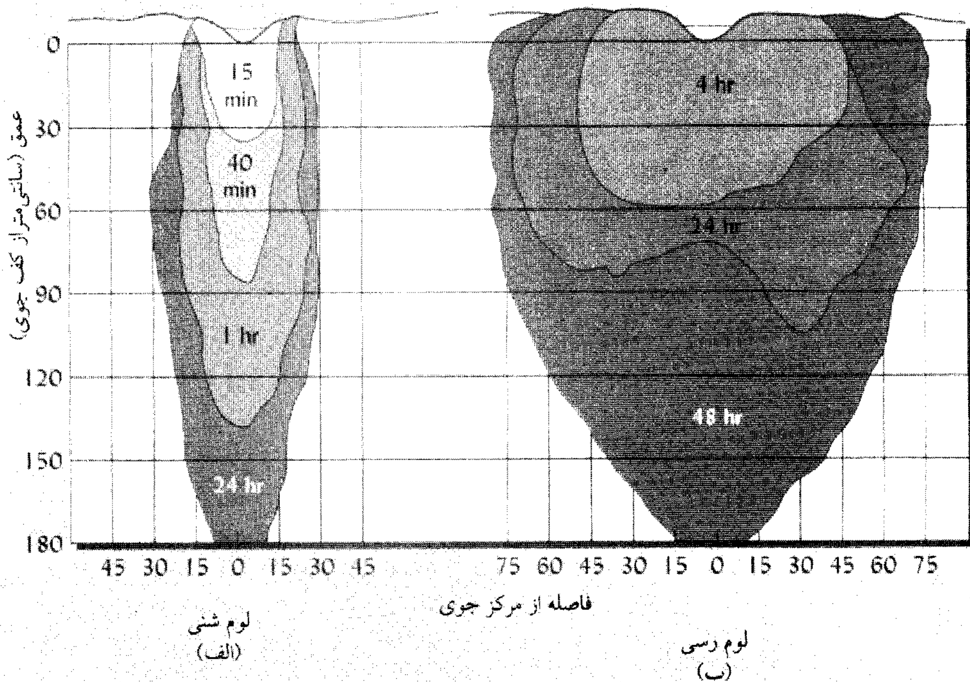
عوامل موثر در ضریب هدایت آبی خاک‌های اشباع

هر عاملی که در اندازه و طرز قرار گرفتن منافذ خاک موثر باشد، در ضریب آب‌گذری نیز موثر است. میزان کل جریان در منافـذ خـاک در ارتباط با توان چهارم شعاع منافذ می‌باشد بنابراین میزان جریان در داخل منافذ با قطر ۱ میلی‌متر (مانند گذرگاه‌های کرم خـاکی) معـادل میزان جریان از ۱۰۰۰۰ لوله با قطر ۰/۱ میلی‌متر می‌باشد، گرچه فقط ۱۰۰ منفذ با قطر ۰/۱ میلیمتر لازم است که همان سطح مقطـع منفـذ ۱ میلی‌متر قطر را ایجاد کند. درنتیجه، منافذ درشت با قطر بیشتر از ۰/۰٤ میلی‌متر اکثر جریان آب را در خاک‌های اشباع به‌عهده دارند، حضور منافذ زیستی مانند ریشه‌راه‌ها و حفره‌های کرم خاکی (عمدتاً با قطر بیشتر از ۱ میلی‌متر) در ضریب آب‌گذری اشباع لایه‌هـای مختلـف آب تأثیر چشم‌گیری دارند (جدول ۳-۵).

بافت و ساختمان یک افق خاک به‌طور مستقیم ضریب آب‌گذری اشباع آن را مشخص می‌سازد. ازآن‌جاکه خاک‌های شنی معمـولاً دارای منافذ درشت بیشتری هستد دارای آب‌گذری اشباع بیشتری از خاک‌های بافت ریز می‌باشند. به‌همین ترتیب خاک‌های دارای سـاختمان گـرد

[1] - Hydraulic gradient

دانه‌ای[1] پایدار از خاک‌های دارای ساختمان ناپایدار که درهنگام مرطوب‌شدن فرومی‌ریزند آب را با سرعت بسیار بالاتری هدایت می‌کننـد رس خیلی ریز ولای می‌توانند راه‌های کوچک رابط بین منافذ درشت را بند آورند. هوای محبوس شده که در خاک‌های تازه مرطوب شـده وجود دارند می‌توانند حرکت آب را کند کرده و بنابراین آب‌گذری اشباع را کاهش دهند.



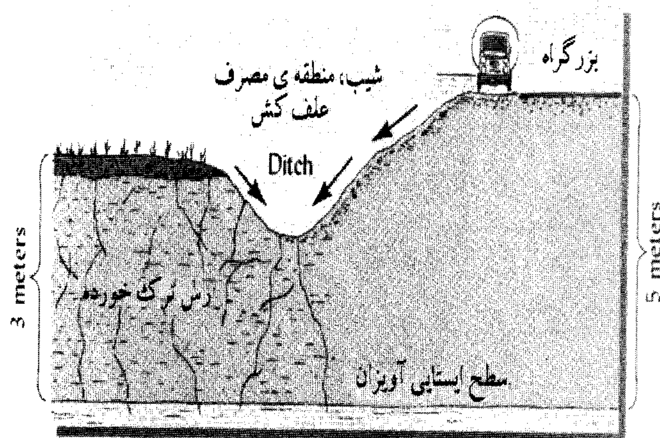
شکل ۲۰-۵ مقادیر قابل‌مقایسه‌ی حرکت آب آبیاری در داخل یک خاک لوم شنی و یک خاک لوم رسی. به حرکت بسیار سریع در خاک لوم شنی به‌خصوص در مسیر رو به پایین توجه کنند.

جریان ترجیحی[2]: توجه به حرکت آفت‌کش‌ها و سایر مواد شیمیایی سمی از داخل خاک و ورود آن‌ها به‌داخل آب‌های زیرزمینی انظار را به عدم تجانس ساختمان در بعضی از خاک‌ها جلب کرده است. اندازه‌گیری ضریب آب‌گذری بر روی استوانه‌های کوچک و یا خـاک‌هـای الک‌شده و تراکم‌یافته در ستون‌های آزمایشگاهی به‌طور عجیبی حرکت واقعی آب و مواد شیمیایی حـل شـده را درمزرعـه کمتـر بـرآورد می‌کند. در خاک مزرعه واقعی اب ممکن‌است از طریق مسیرهای مخصوصی به‌طور ترجیحی سریع‌تر از حرکت آرام‌تـر و یکنواخـت‌تـر از طریق کل حجم خاک حرکت کند. ممکن‌است این مسیرهای جریان ترجیحی امکان حرکت سریع آب حاوی مواد شیمیایی را به بخش عمیق خاک فراهم کند و آلودگی احتمالی آب زیرزمینی را افزایش دهد.

دربرخی خاک‌های شنی به‌خصوص این حرکت(انگشت مانند) در خاک‌هایی که سریعاً مرطوب می‌شوند صورت می‌گیرد و بسیار شـبیه قطرات بارانی است که بر روی شیشه پنجره بارش نموده و در آن‌جا پس از تجمع به‌صورت جویبارهایی نه‌مانند جریان صفحه‌ای یکنواخت به پایین پنجره جریان می‌یابد. شواهد این نوع جریان در طول تشکیل خاک در مرزهای انگشت مانند افق‌ها درخاک‌های شنی اسپدوسول که در شکل ۲۵-۳ نشان داده شده قابل‌مشاهده است. ممکن‌است درخاک‌های بافت ریز انقباض رس در طـول دوره‌هـای خشـک شـبکه‌ای از ترک‌ها در بین واحدهای ساختمانی مکعبی و منشوری ایجاد کند(شکل ۱۲-٤ را مشاهده کنید). این ترک‌ها ممکن‌است به‌صورت مسیرهایی برای جریان ترجیحی آب (شکل ۲۱-۵) عمل می‌کنند که حرکت رو به پایین سریع آب حاصل از باران و مواد شیمیایی همراه آنـرا قبـل از این‌که خاک پیرامون آن‌ها مرطوب شده و ترک‌ها بسته شوند سبب گردند. ممکن‌است منافذ زیستی[3] مانند حفره‌های عمیق کرم‌های خاکی و کانال‌های قدیم ریشه‌راه‌ها به‌صورت مسیرهای جریان ترجیحی عمل کنند.

---

1 - Granular Structure
2 - preferential flow
3 - Biopores



شکل ۲۱-۵ تشریح اثرات ترک‌های طبیعی خاک در آب‌گذری و حرکت رو به پایین آفت‌کش‌ها به آب زیرزمینی یک علف‌کش درطول یک اتوبان، استعمال گردید (راست) با این تفکر که حرکت روبه‌پایین به‌داخل آب زیرزمینی مسأله مهمی نباشد. چون خاک‌های اطراف دارای بافت ریز بوده و انتظار نمی‌رفت که نفوذ مواد شیمیایی را به آسانی عملی سازد. به‌دلیل وجود ترک‌های عریض در این نوع رس انبساط‌پذیر، اولین باران سنگین قبل از این‌که خاک‌های انبساط یافته و بتوانند ترک‌ها را ببندند. سبب حمل مواد شیمیایی به داخل آب زیرزمینی گردید. از طریق آب زیرزمینی علف‌کش‌ها می‌توانند به رودخانه‌های نزدیک وارد شوند.

جدول ۳-۵ ضریب هدایت آبی اشباع (K_{Sat}) و خصوصیات مربوطه‌ی افق‌های مختلف در خاک‌رخ تیپک هاپلویودلت[2]. افق‌های بالایی دارای منافذ زیستی (عمدتاً حفره‌های کرم‌های خاکی) بود که سبب ایجاد ارقام بالای K_{Sat} و همچنین تغییرات شدید در بین نمونه‌ها گردید. وجود افق ارجلیک غنی از رس سبب کاهش K_{Sat} گردید. ظاهراً اکثر منافذ زیستی در این خاک تا زیر ۳۰ سانتی‌متر انتشار نیافته بودند.

افق	عمق (سانتی‌متر)	درصد رس	وزن مخصوص ظاهری	میانگین K_{Sat} (سانتی‌متر در ساعت) (الف)	دامنه تغییرات K_{Sat}
AP	۰-۱۵	۱۲/۶	۱/۴۲	۲۲/۴	۰/۸-۷۰
E	۱۵-۳۰	۱۱/۱	۱/۴۴	۷/۹	۰/۵-۲۴
E/B	۳۰-۴۵	۱۴/۵	۱/۴۷	۰/۹۳	۰/۵۳-۱/۳۳
Bt	۴۵-۶۰	۲۲/۲	۱/۴۰	۰/۴۹	۰/۱۹-۰/۷۹
Bt	۶۰-۷۵	۲۷/۲	۱/۳۸	۰/۱۷	۰/۰۷-۰/۲۷
Bt	۷۵-۹۰	۲۴/۱	۱/۲۸	۰/۰۴	۰/۰۱-۰/۰۷

الف: برای هر لایه K_{Sat} از روی ۵ نمونه‌ی به‌هم نخورده با قطر ۷/۵ سانتی‌متر به‌دست آمد.

جریان غیراشباع در خاک‌ها

دراکثر مواقع حرکت آب وقتی صورت می‌گیرد که خاک‌های نقاط بالا دست غیراشباع می‌باشند این نوع حرکت در شرایطی بسیار غامض‌تر از شرایط جریان اشباع صورت می‌گردد. در خاک‌های اشباع، اساساً تمام منافذ ازآب مملو بوده و سریعترین حرکت آب در داخل منافذ درشت و پیوسته انجام می‌گیرد. اما درخاک‌های غیراشباع این منافذ درشت از هوا مملو بوده و فقط منافذ ریز حرکت آب را میسر می‌سازند. همچنین، در خاک‌های غیراشباع میزان آب و درنتیجه شدت نگهداری آب در خاک(پتانسیل آب) بسیار متغیراست. این در میزان و مسیر حرکت آب مؤثر بوده و اندازه‌گیری جریان آب خاک را مشکل‌تر می‌سازد.

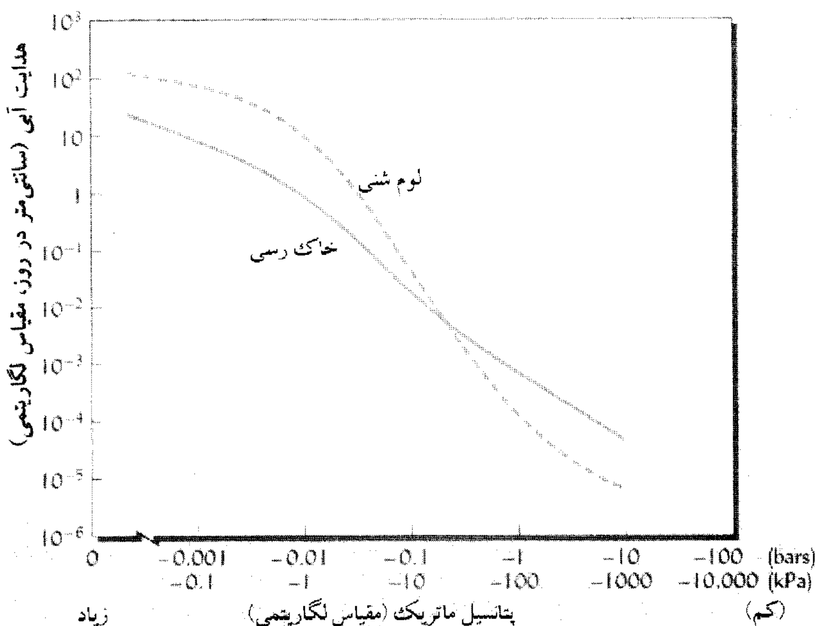
همانند جریان اشباع، نیروی پیش‌برنده جریان آب غیراشباع تفاوت در پتانسیل آب است، هرچند در این نوع جریان اختلاف در پتانسیل ماتریک نه در پتانسیل ثقلی نیروی اولیه پیش‌برنده جریان غیراشباع است. شیب پتانسیل ماتریک عبارتست از اختلاف در پتانسیل ماتریک مناطق مرطوب خاک با مناطق خشک مجاور است که آب به آن‌جا حرکت می‌کند. حرکت از یک منطقه با لایه‌ی ضخیم آب (پتانسیل ماتریک بالا مثلاً Kpa ۱-) به منطقه‌ی خشک با لایه نازک (پتانسیل ماتریک کم Kpa۱۰۰-) انجام می‌گیرد.

2 - Typic Hapludult

تأثیر بافت: شکل ۲۲-۵ رابطه‌ی کلی شیب پتانسیل ماتریک ψ_m (و مقدار آب محتوی) و هدایت آبی یک خاک لومی شنی و رسی را نشان می‌دهد. توجه کنید که در پتانسیل صفر و یا نزدیک آن(که منطقه دارای جریان اشباعی را مشخص می‌کند) هدایت آبی هزاران مرتبه بزرگ‌تر از مناطق با پتانسیل کم با جریان غیراشباعی (۱۰- کیلوپاسکال و کمتر) می‌باشد.

در پتانسیل‌های بالا (میزان رطوبت زیاد) هدایت آبی شن بالاتر از رس است. عکس این حالت، در پتانسیل‌های پایین (میزان رطوبت کم) صادق می‌باشد. این رابطه قابل‌انتظار است زیرا خاک‌های شنی دارای منافذ درشتی است که وقتی پتانسیل بالاست (و خاک کاملاً خیس است) از آب مملو می‌شوند اما اکثر این منافذ وقتی پتانسیل آب خاک از ۱۰- کیلوپاسکال کمتر است از آب خالی می‌شوند. خاک رسی دارای ریز منافذ بسیاری می‌باشد که در پتانسیل پایین آب (شرایط خشک‌تر خاک) هنوز از آب پر بوده و میتوانند در جریان غیراشباع شرکت کنند

تأثیر بزرگی شیب پتانسیل در حرکت اب به‌وسیله‌ی شکل ۲۳-۵ تشریح شده است. اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی بر روی سه خاک خیس در مجاورت یک خاک خشک نشان داد که هرچه آب درخاک مرطوب بیشترباشد شیب پتانسیل ماتریک بین خاک خیس و خاک خشک بیشتر بوده و سرعت حرکت نیز بیشتر است توجه کنید که منحنی‌ها وقتی آب به‌داخل خشک حرکت می‌کند صاف می‌شوند زیرا فاصله L بین مرطوب‌ترین خاک با خاک هنوز مرطوب نشده افزایش پیدا کرده و سبب کاهش شیب آبی $\Delta\psi/L$ می‌شوند.



شکل۲۲-۵ رابطه‌ی کلی بین پتانسیل ماتریک و هدایت آبی در یک خاک رسی و یک خاک شنی(به مقیاس لگاریتمی توجه کنید). جریان اشباع در پتانسیل صفر و یا نزدیکی آن صورت می‌گیرد درحالی‌که اکثر جریان غیراشباع، در ۱۰- کیلوپاسکال و یا کمتر از آن انجام می‌شود.

۶-۵ نفوذ آب در خاک[1] و نفوذ عمقی[2]

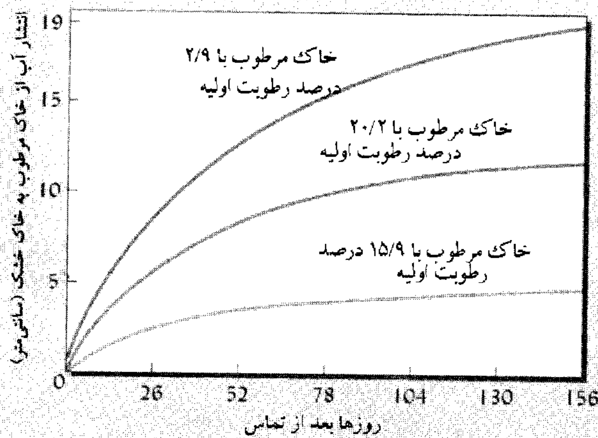
یک حالت خاص از حرکت آب، ورودآب ازاد به‌داخل خاک ازفصل متشرک خاک و هوا می‌باشد. همان‌طورکه در فصل ٦ تشریح خواهیم کرد، این یک فرایند محوری در آب‌شناسی اراضی بوده که به‌طور عمده در رژیم رطوبتی برای گیاهان، پتانسیل تخریب اراضی، رواناب شیمیایی و سیل‌گیری پایین دست مؤثر می‌باشد. مبنع آب آزاد در سطح خاک ممکن‌است بارندگی، ذوب برف و یا آبیاری باشد.

نفوذ آب در خاک

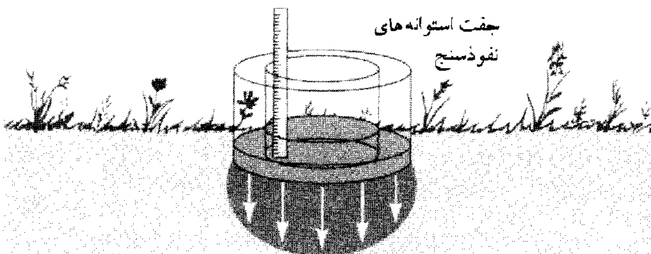
فرایندی که طی آن آب وارد منافذ خاک شده و به آب خاک تبدیل می‌گردد، نفوذ نامیده می‌شود ومیزان آبی که می‌تواند وارد خاک شود ظرفیت نفوذ(I)[3] نام دارد که با رابطه $I= Q/A\ t$ بیان می‌شود. در این رابطه Q عبارتست از حجم (m3) آب نفوذ یافته، A عبارتست از سطح مقطع خاک در معرض نفوذپذیری و t عبارتست از زمان (ثانیه)، از آن‌جاکه m^3 درصورت کسر و m^2 در مخرج که ظاهر می‌شود،

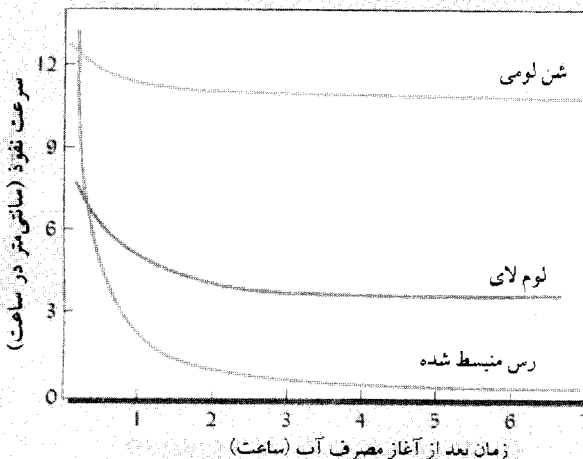
1- Infiltration
2- Percolation
3- Infiltration Capacity

واحد نفوذپذیری می‌تواند به m/s ویا به‌طور بسیار معمول، cm/h بیان شود. ظرفیت نفوذ طی زمان ثابت نیست و معمولاً در طی یک آبیاری و یا حادثه‌ی بارندگی کاهش می‌یابد. اگر هنگام شروع نفوذ، خاک کاملاً خشک باشد تمام منافذ درشت باز در سطح برای هدایت آب به‌داخل خاک آماده می‌باشند. در خاک‌های دارای رس‌های انبساط‌پذیر میزان نفوذپذیری اولیه ممکن‌است به‌دلیل ورود آب به‌داخل شبکه ترک‌ها مخصوصاً بالا باشد. هرچند با پیشرفت نفوذ بسیاری از منافذ درشت با آب پر شده و ترک‌های حاصل از انقباض بسته می‌شوند. ظرفیت نفوذ درابتدا به‌شدت کاهش یافته و نهایتاً ثابت شده و از آن به‌بعد تقریباً ثابت می‌ماند(شکل ۲۴-۵)



شکل ۲۳-۵ میزان حرکت آب از یک خاک مرطوب درسه سطح رطوبتی به یک خاک خشک‌تر. هرچه خاک مرطوب‌تر باشد شیب حاصل بیشتر بوده و تحویل آب سریع‌تر خواهد بود. تعادل آب در بین دو خاک نسبتاً خیس با همان میزان رطوبت فوق‌العاده کند می‌باشد.





شکل ۲۴-۵ شدت ورود آب به‌داخل خاک و یا ظرفیت نفوذ می‌تواند با ثبت سطح پایین‌آمدن آب در دستگاه نفوذ سنج استوانه‌ی مضاعف(شکل بالا) اندازه‌گیری شود. تغییرات در میزان نفوذ چندین خاک درطول یک دوره‌ی افزایش آب به‌وسیله‌ی باران و یا آبیاری نشان داده شده است(پایین عکس). که معمولاً آب به‌داخل خاک خشک ابتدا سریع وارد می‌شود و با اشباع خاک میزان نفوذ کاهش می‌یابد. کاهش برای خاک‌های خیلی شنی با منافذ درشت، که تحت تأثیر پایداری ساختمان و یا انقباض رس قرار ندارند حداقل است. برعکس ممکن‌است در یک خاک حاوی رس خیلی انبساط‌پذیر وقتی که ترک‌های عریض آن‌ها باز است دارای نفوذپذیری اولیه بالایی باشد، اما وقتی رس در اثر جذب آب منبسط شده و ترک‌های آن مسدود گردید، نفوذپذیری بسیار کم می‌باشد. نفوذپذیری اکثر خاک‌ها دربین این دو حد واقع است، مشابه آنچه است که در شکل در مورد سیلت لومی نشان داده شده است.

اندازه‌گیری نفوذپذیری

همانند هدایت آبی، ظرفیت نفوذ خصوصیت انحصاری هر خاک بوده و عمدتاً وابسته به بافت و ساختمان در سطح خاک است، اما بستگی به حضور لایه‌ی محدودکننده‌ی نفوذ آب در داخل خاکرخ نیز دارد. ظرفیت نفوذ هر خاک ممکن‌است به آسانی با استفاده از وسیله‌ای به‌نام استوانه‌ی مضاعف اندازه‌گیری شود. دو استوانه سنگین فلزی که یکی از نظر قطر کوچک‌تر است مقداری به‌داخل خاک رانده می‌شود به‌طوری‌که استوانه‌ی کوچک‌تر در داخل استوانه‌ی بزرگ‌تر قرار گیرد(شکل ۲۴-۵ را مشاهده کنید). لایه‌ای از کرباس در داخل

استوانه‌ها برای ممانعت از به‌هم‌خوردن سطح خاک قرار داده شده و آب در دو استوانه ریخته می‌شود. عمق آب در سیلندر داخلی (یا نفوذ آب) در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری و ثبت می‌شود. آب نفوذ کرده در استوانه خارجی اندازه‌گیری نمی‌شود، اما تضمین می‌کند که خاک در اطراف نیز به‌طور مشابه مرطوب بوده و حرکت آب از استوانه داخلی اصولاً قایم بوده و افقی نمی‌باشد.

نفوذ عمقی

نفوذ آب به‌داخل خاک یک پدیده‌ی انتقالی بوده که در خاک روی می‌دهد. وقتی آب در داخل خاک نفوذ کرد، آب از داخل خاکرخ به‌طرف پایین براثر فرایندی که نفوذ عمقی نام دارد حرکت می‌کند. هردو جریان اشباع و غیراشباع در نفوذ عمقی آب در داخل خاکرخ دخالت دارند و میزان نفوذ عمقی در ارتباط با هدایت آبی خاک می‌باشد. در مورد آبی که در داخل یک خاک نسبتاً خشک نفوذ کرده است، میزان پیشرفت حرکت آب به‌وسیله‌ی رنگ سیاه خاک که با مرطوب‌شدن به‌وجود می‌آید قابل‌مشاهده می‌باشد (شکل ۲۵-۵). معمولاً به‌نظر می‌رسد که یک مرز مشخص که جبهه رطوبتی نامیده می‌شود بین خاک خشک زیرین و خاکی که قبلاً مرطوب شده است وجود داشته باشد. (شکل ۲۶-۵ را مشاهده کنید) در طول یک باران شدید و یا آبیاری سنگین حرکت آب در نزدیکی سطح خاک معمولاً براثر جریان اشباع در پاسخ به ثقل انجام می‌گیرد. در جبهه رطوبتی حرکت آبی به‌داخل خاک زیرین خشک‌تر در پاسخ به شیب پتانسیل ماتریک و همین‌طور ثقل انجام می‌گردد. در طول یک بارش سبک، نفوذ و نفوذ عمقی هر دو ممکن‌است عمدتاً براثر جریان غیراشباع انجام گیرد. چون آب بدون تجمع آب در سطح خاک ویا درون منافذ درشت به‌وسیله‌ی نیروی ماتریک به‌داخل منافذ ریز کشیده می‌شود.



شکل ۲۵-۵ جبهه رطوبتی ۲۴ ساعت به‌دنبال ۵ سانتی‌متر باران. برداشت آب به‌وسیله‌ی ریشه گیاهان سبب خشک‌شدن خاک ۸۰-۷۰ سانتی‌متر فوقانی خاکرخ در یک منطقه‌ی مرطوب(آلاباما) در طول سه هفته‌ی خشک قبلی شده است. مرزی کاملاً آشکار از تغییرات شدید رطوبت خاک در جبهه‌ی رطوبتی بین خاک خشک روشن‌تر وخاک تیره از نفوذ عمقی آب حاصل شده است.سرشت مواج جبهه رطوبت در این خاک طبیعی مزرعه دلیل عدم تجانس در اندازهای منافذ می‌باشد. مقیاس به‌صورت دسی‌مترهای متوالی است

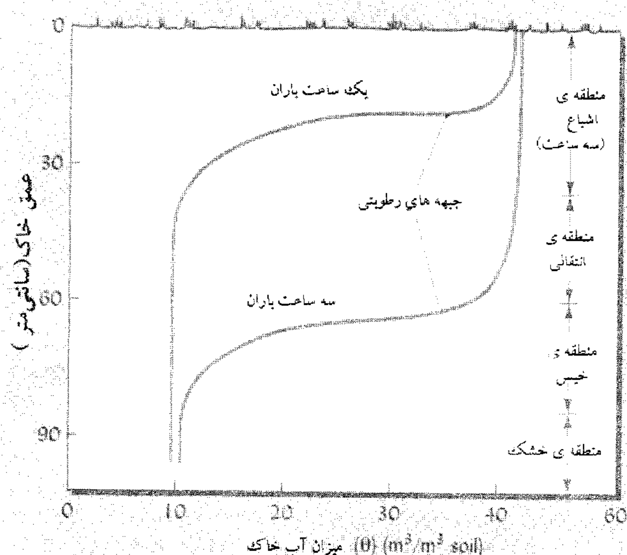
حرکت آب درخاک‌های مطبق

این واقعیت که در جبهه‌ی رطوبتی آب به‌وسیله‌ی جریان غیراشباع حرکت می‌کند، مشخص می‌نماید که آب در نفوذ عمقی در صورت مواجهه با یک تغییرات شدید در اندازه‌ی منافذ چگونه عمل می‌کند. در مزرعه بسیاری از خاکرخ‌ها دارای لایه‌های زیر سطحی با منافذی می‌باشند که با لایه‌های مجاور در خاکرخ در تضاد آشکارند. مثال‌های معمول شامل افق‌های نسبتاً غیرقابل‌نفوذ مانند فراجی‌پن[1]، و کلی‌پن[2]

---

1 - Fragipan
2 - Claypan

و لایه‌های بافت درشت مانند عدسی‌های شن[3] و سنگ‌ریزه می‌باشند در بعضی موارد ممکن‌است چنین بندی درمنافذ به‌وسیله‌ی مدیران خاک ایجاد شود، مثلاً وقتی بقایای درشت گیاهی در یک لایه براثر شخم برگردانده شود و یا یک لایه سنگ‌ریزه در زیر یک لایه‌ی ریزبافت در یک محفظه کشت قرار داده شود. در تمام موارد اثربر روی نفوذ عمقی آب مشابه بوده وآن، محدودیت حرکت به‌سمت پایین است، هرچند سازوکار عامل اصلی متفاوت باشد. جای تعجب نخواهد بود که آب در نفوذ عمقی هنگام رسیدن به منافذ ریز که داری ضریب آب‌گذری کمتر است سرعت آن به‌مقدار قابل‌توجهی کاسته شود. ولی ممکن‌است این واقعیت، که منافذ درشت‌تر به‌طور موقت سبب توقف حرکت آب شوند آشکار نباشند.



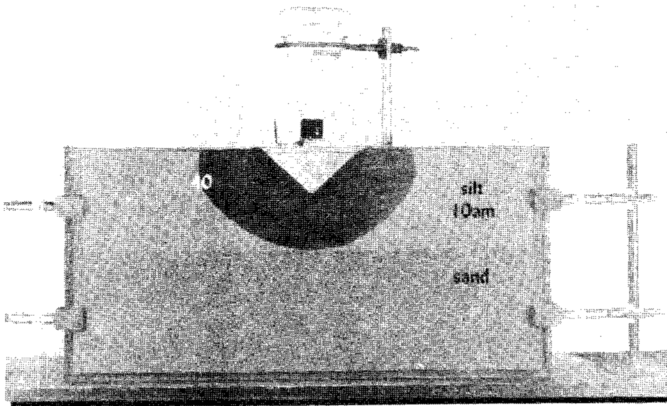
شکل ۲۶-۵ نفوذ آب به‌داخل یک خاک نسبتاً خشک بعد از یک و سه ساعت باران مداوم. جبهه‌ی رطوبتی بیانگر نفوذ عمقی آب است. بعد از سه ساعت ۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متر بالایی خاک به‌وسیله‌ی آب اشباع شده است. یک منطقه‌ی انتقالی تقریباً نزدیک اشباع در بالای جبهه‌ی رطوبتی وجود دارد که خود آن نیز در بالای منطقه خشک قرار گرفته است.

در شکل ۲۷-۵ یک لایه شن درشت مانع حرکت آب از یک لایه خاک بافت ریز فوقانی به پایین شده است، به‌طور ظاهری ممکن‌است شخص انتظار داشته باشد که لایه شن به‌جای ممانعت از حرکت، سبب تسریع نفوذ عمقی گردد. ولی این لایه به‌خاطر این‌که منافذ درشت شن تمایل کمتری برای جذب آب در مقایسه با منافذ ریز مواد فوقانی بروز می‌دهند برعکس عمل می‌کند. بنابراین وقتی جبهه رطوبتی غیراشباع به لایه شن می‌رسد پتانسیل ماتریک در لایه فوقانی کمتر از لایه شن است و ازآن‌جاکه آب از پتانسیل بالا به پتانسیل پایین حرکت می‌کند (که درآن‌جا محکمتر نگه‌داشته شود) نمی‌تواند به سرعت وارد شن گردد، نهایتاً آب در حال حرکت به پایین در روی لایه شن تجمع پیدا کرده و تقریباً سبب اشباع منافذ در فصل مشترک خاک و شن خواهد شد(پتانسیل ماتریک در جبهه‌ی رطوبتی به حدود صفر می‌رسد) درصورت تحقق این امر، آب به‌وسیله‌ی خاک ریز چنان باسستی نگهداری می‌شود که نیروهای ثقلی قادرند آنرا به‌داخل لایه شنی بکشانند.

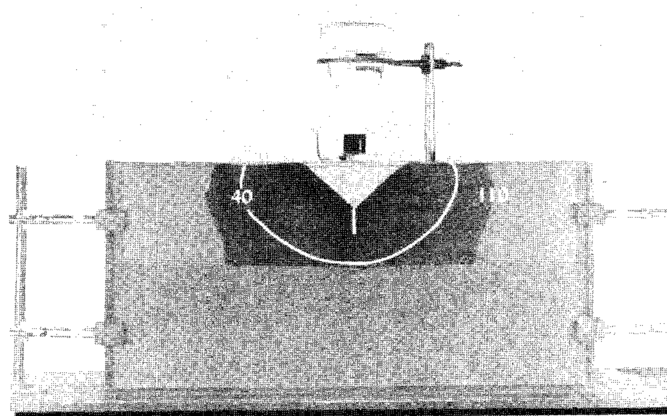
مسأله‌ی قابل‌توجه وجود یک لایه‌ی درشت شنی بر عکس در روی یک لایه بافت ریز خاک از صعود آب از لایه‌ی مرطوب زیری به سطح خاک ممانعت خواهد کرد، موقعیتی که با برگردان شکل ۲۷-۵ ب قابل‌تشریح می‌باشد. منافذ بزرگ در لایه بافت درشت قادر به تداوم صعود مویینه از منافذ کوچک‌تر خاک بافت ریز زیرین نخواهند بود. درنتیجه آب در اثر مویینه تا لایه بافت درشت بالا آمده اما نمی‌تواند از این لایه برای لایه‌های فوقانی رطوبت فراهم کند. بنابراین، گیاهان کاشته شده در بعضی از خاک‌ها با عدسی‌های شن در لایه‌های زیرین در معرض خشکی قرار می‌گیرند زیرا قادر نخواهد بود که از این لایه آب استخراج کنند. این اصول امکان می‌دهد که یک لایه سنگ‌ریزه درشت (بلوکاژ) به‌صورت یک مانع مویینه در زیر یک کف بتنی برای ممانعت از بالاآمدن آب لایه خاک زیرین از داخل کف بتنی عمل کند.

این واقعیت که لایه‌های بافت درشت (سنگ‌ریزه، شن، مواد آلی، وپشم شیشه) می‌توانند از حرکت روبه‌بالا و روبه‌پایین جریان غیراشباع ممانعت کنند در استفاده از این مواد برای ظروف گلدانی ویا طرح زه‌کشی(فصل ۹-۹ را مشاهده کنید). باید در نظر گرفته شود. برای نمونه، لایه‌بندی به‌خاطر ممانعت از حرکت رو به پایین به‌طور قابل‌توجهی در میزان آب نگهداری شده به‌وسیله‌ی لایه‌های فوقانی یک مزرعه مؤثر است. یک لایه متفاوت به‌عنوان یک مانع رطوبتی عمل می‌کند تا این‌که میزان آب محتوی آن افزایش یابد. این حالت ممکن‌است منجر به میزان رطوبت بسیار بالاتر در مزرعه درمقایسه با خاک‌های دارای زه‌کشی مناسب در شرایط عادی گردد.

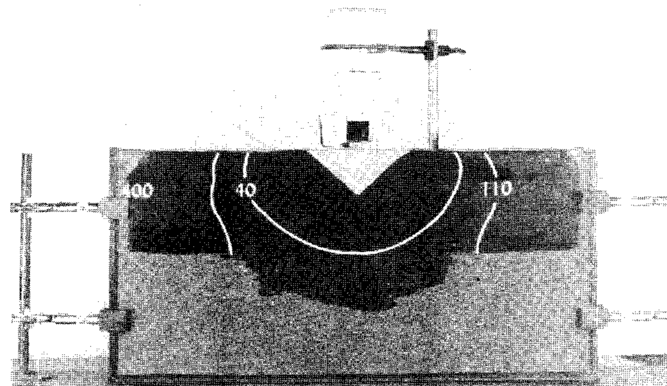
3 - Sand,Gravel lenses



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۲۷-۵ حرکت رو به پایین آب در خاک‌ها با یک لایه از مواد درشت. (الف) آب به سطح یک خاک بافت متوسط داده می‌شود. توجه کنید بعد از ۴۰ دقیقه حرکت رو به پایین از حرکت جانبی بیشتر نیست و بیانگر آن است که در این‌جا اثر نیروی ثقل در مقایسه با شیب پتانسیل ماتریک بین خاک خشک و مرطوب قابلِ توجه نیست. (ب) در صورت مواجهه با یک لایه بافت درشت حرکت رو به پایین متوقف می‌شود. بعد از ۱۱۰ دقیقه هنوز حرکتی به‌داخل لایه شنی صورت نگرفته است. منافذ درشت شنی تمایل کمتری برای جذب آب در مقایسه با خاک بافت ریز فوقانی دارند. فقط وقتی میزان آب خاک(درنتیجه شیب پتانسیل ماتریک) به‌طور کافی افزایش یافت آب به‌داخل لایه شنی حرکت خواهد کرد. (ج) بعد از ۴۰۰ دقیقه میزان آب لایه‌ی فوقانی به‌مقدار کافی افزایش می‌یابد و سبب ایجاد پتانسیل حدود Kp ۱- و بیشتر شده و حرکت رو به پایین در داخل مواد بافت درشت صورت می‌گیرد.

۷-۵ حرکت بخار آب در خاک

دو نوع حرکت بخار آب در داخل خاک‌ها انجام می‌گیرد. حرکت رطوبت در داخل خاک[1] و حرکت رطوبت به خارج خاک.[2] حرکت درونی در داخل خاک و در منافذ آن صورت می‌گیرد، حرکت بیرونی در سطح خاک صورت گرفته و آب به‌صورت بخار براثر تبخیر سطحی از بین می‌رود (بخش ٦-٦ را مشاهده کنید) بخار آب در اثر اختلاف در فشار بخار از یک نقطه به نقطه دیگر حرکت می‌کند. بنابراین، بخار آب از خاک مرطوب که هوای آن ۱۰۰٪ از بخار آب اشباع شده است(فشار بخار زیاد) به خاک خشک که فشار بخار آن

1 - Internal movment
2 - External movment

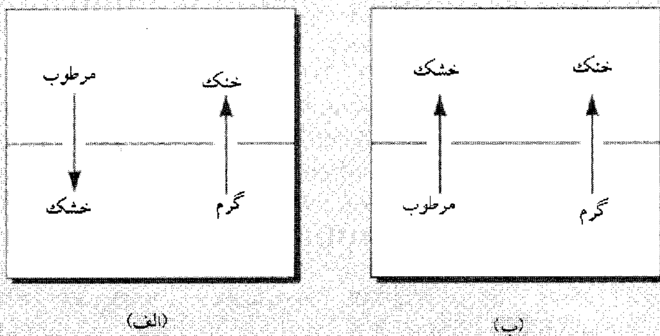
کمی کمتر است جریان می‌یابد بخار آب همچنین از منطقه‌ای که دارای نمک کم به منطقه‌ای که دارای نمک زیاد است حرکت می‌کند (در اطراف یک کود دانه‌ی شیمیایی)، نمک سبب پایین‌آوردن فشار بخار آب شده و سبب حرکت بخار آب از خاک اطراف به آن‌جا می‌گردد.

اگر دمای یک بخش ازخاک مرطوب یکنواخت، پایین بیاید فشار بخار کاهش یافته و فشار بخار تمایل خواهد داشت که به سمت این نقطه سرد حرکت کند. گرم‌کردن اثر مخالفی دارد زیرا گرم‌کردن سبب افزایش فشار بخار گشته و بخارآب از منطقه گرم شده به بیرون حرکت خواهد کرد. شکل ۲۹-۵ این روابط را نشان می‌دهد.

مقدار واقعی بخار آب در رطوبت بهینه برای رشد گیاهان به‌طور شگفت‌انگیزی اندک می‌باشد. این مقدار شاید بیشتر از ۱۰ لیتر در ۱۵ سانتی‌متر بالایی دریک هکتار خاک لوم سیلتی نباشد. درمقایسه آب مایع در همان خاک ۶۰۰/۰۰۰ لیتر در همان حجم خاک خواهد بود. به‌خاطر این‌که میزان بخار آب اندک است، حرکت آن در خاک‌ها اگر رطوبت خاک نزدیک رطوبت بهینه برای رشد گیاه باقی بماند، دارای اهمیت عملی محدودی می‌باشد. هرچند در خاک‌های خشک حرکت بخار آب ممکن‌است دارای اهمیت قابل‌ملاحظه‌ای برای گیاهان بیابانی مقاوم به خشکی (زورفیت‌ها) باشد که بسیاری از آن‌ها در مقادیر بسیار پایین رطوبت خاک موجودند. برای نمونه در شب، افق سطحی یک خاک بیابانی ممکن‌است به‌اندازه‌ی کافی برای انجام حرکت بخار به‌طرف لایه‌های بالایی سرد شود، درصورت بسندگی سردشدن ممکن‌است بخار براثر میعان به‌صورت دانه‌های شبنم در داخل منافذ خاک درآمده و سبب فراهم‌کردن آب برای بقای گیاهان خشکی‌پسند گردد.



شکل ۲۸-۵ یکی از نتایج لایه‌های خاک با بافت متضاد. این خاک در ایالت کارولینای شمالی دارای حدود ۵۰ سانتی‌متر مواد شن لومی دشت‌های ساحلی بر روی لایه‌های عمیق‌تر مواد لوم رسی سیلتی حاصل از دشت دامنه‌ای می‌باشد. آب باران به‌سرعت از افق‌های شنی سطحی نفوذ کرده اما حرکت رو به پایین آن در لایه‌های دارای بافت ریزتر متوقف گشته و سبب ایجاد شرایط اشباع در نزدیک سطح و رفتار شبیه شن سیال می‌شود.



شکل ۲۹-۵ تمایل حرکت قابل‌انتظار بخارآب در بین افق‌های خاک با رطوبت و دمای متفاوت. در (الف) تمایلات حرکت کم و بیش یکدیگر را خنثی می‌کنند، اما در (ب) این تمایلات هم آهنگ بوده و سبب انتقال بخار آب به‌مقدار قابل‌ملاحظه‌ای خواهد بود، اگر آب مایع در منافذ مویینه‌ی خاک دخالت نکنند

۸-۵ تشریح کیفی خیس‌بودن خاک

اندازه‌گیری پتانسیل آب خاک و رفتار قابل‌مشاهده‌ی آب خاک همیشه وابسته به بخشی از آن است که در دورترین فاصله از سطح ذرات قرار داشته و بنابراین دارای بالاترین پتانسیل می‌باشد. وقتی یک خاک از حالت اولیه اشباع خشک می‌شود هم کل خاک و هم آب آن وارد

یک گروه از تغییرات تدریجی در رفتار فیزیکی، و در روابط با گیاهان می‌شوند. این تغییرات عمدتاً ناشی از این واقعیت است که وقتی پتانسیل آب عمدتاً به‌وسیله‌ی عمل نیروهای ماتریک کاهش می‌یابد، آب باقی‌مانده درخاک درحال خشک‌شدن، در منافذ کوچک‌تر و در لایه‌های نازک‌تر یافت می‌شود. پتانسیل ماتریک بنابراین بخش اعظم پتانسیل کل آب خاک بحساب می‌آید درحالی‌که بخش مربوط به پتانسیل ثقلی کاهش می‌پذیرد.

برای مطالعه این تغییرات و معرفی واژه‌هایی که به‌طور معمول برای تشریح درجات مختلف خیس‌بودن خاک به‌کار می‌روند، وضعیت رطوبت و انرژی آب را در طول یک باران سنگین ویا آبیاری و به‌دنبال آن‌ها، تعقیب می‌کنم. واژه‌هایی که باید معرفی شوند مراحل مختلف را در طول یک زنجیره‌ی خیس‌شدن تشریح نموده و نباید بدین منظور تفسیر گردد که آب خاک در اشکال مختلف وجود دارد، از آن‌جاکه این واژه‌ها اساساً کیفی بوده و فاقد اساس دقیق علمی می‌باشند. بعضی از دانشمندان فیزیک خاک از استعمال آن‌ها اکراه دارند. هرچند حذف آن‌ها از این کتاب کم‌لطفی بسیاری به خواننده می‌باشد، زیرا آن‌ها به‌طور گسترده‌ای در مدیریت عملی خاک مورد استفاده بود و در ایجاد ارتباطات در مورد حقایق مهم در مورد رفتار آب خاک مورد استفاده می‌باشند.

بیشینه ظرفیت نگهداری

وقتی تمام منافذ خاک به‌وسیله‌ی آب ناشی از بارندگی و یا آبیاری مملو می‌گردند، گفته می‌شود که خاک از آب اشباع شده است (شکل ۳۰-۵) و در بیشینه ظرفیت نگهداری قرار دارد. پتانسیل ماتریک نزدیک صفر بوده و تقریباً همانند آب خالص است. میزان آب حجمی اساساً مساوی تخلخل کل است. خاک تا مادامی‌که نفوذ آب درآن تداوم داشته باشد در بیشینه ظرفیت نگهداری خود باقی خواهد ماند، زیر آب در درشت‌ترین منافذ (بعضی مواقع آب ثقلی[1] نامیده می‌شود) عمدتاً تحت تأثیر نیروهای ثقل (پتانسیل‌های ایستابی و ثقلی) به‌طرف پایین نفوذ می‌کند. طی نفوذ عمقی سرعت آب عمدتاً براثر نیروهای اصطکاکی همراه گرانروی کاهش خواهد یافت. از آن‌جاکه گرانروی آب با افزایش دما کاهش می‌یابد (آب به‌نظر می‌رسد نازک‌تر شده) در خاک‌های گرم‌تر زه‌کشی سریع‌تر است. اطلاعات مربوط به حداکثر ظرفیت نگهداری و متوسط عمق خاک در یک حوزه آبخیز برای برآورد مقدارآب باران ذخیره شده موقتی در خاک مفید می‌باشد و بنابراین. احتمالاً از طغیان‌ها در پایاب رودخانه جلوگیری خواهد شد.

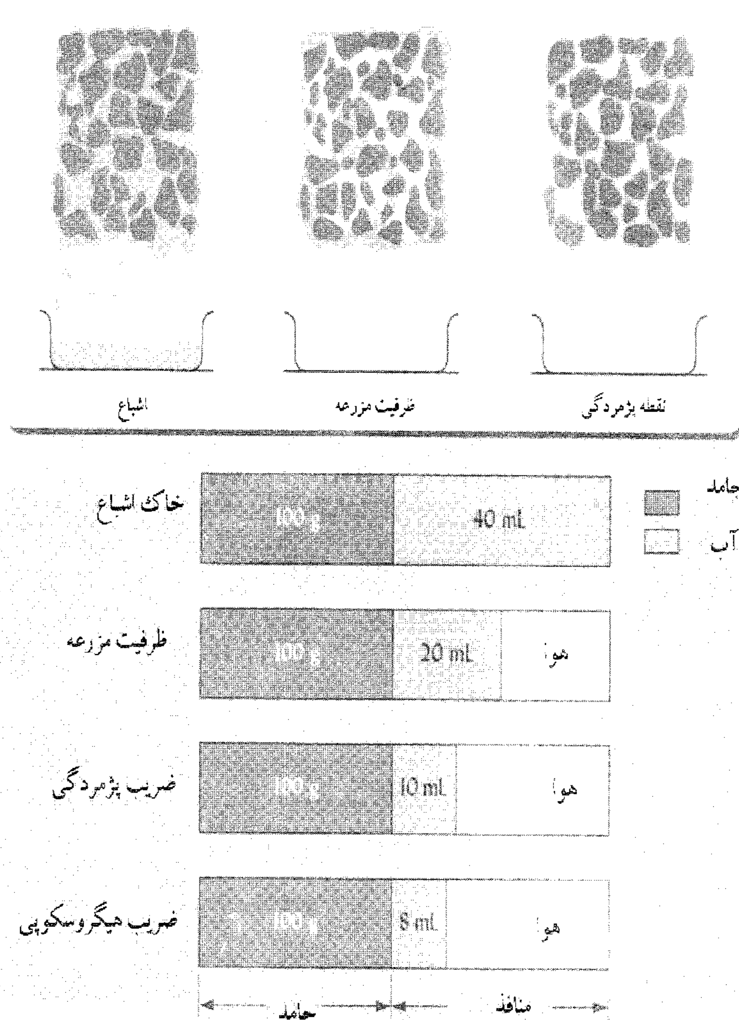
ظرفیت مزرعه[2]

وقتی بارندگی و یا آبیاری متوقف می‌شود آب در منافذ درشت خاک درپاسخ به شیب آبی (عمدتاً ثقل) به‌سرعت به‌طرف پایین خاکرخ زه‌کشی می‌شود، بعد از یک تا ۳ روز وقتی نیروهای ماتریک نقش عمده‌تری در حرکت آب باقی‌مانده به‌عهده می‌گیرند، این حرکت سریع قابل‌اغماض خواهد بود (شکل ۳۱-۵). در آن زمان گفته می‌شود که خاک در ظرفیت مزرعه خود می‌باشد. در این شرایط آب از منافذ درشت خارج گردیده و هوا جایگزین آن شده است. ریز منافذ و یا مناقذ موبینه هنوز مملو از آب بوده و می‌توانند آب مورد نیاز گیاهان را فراهم کنند. پتانسیل ماتریک خاک به خاک به‌مقدار کمی تغییر می‌کند اما با فرض انجام زه‌کشی به‌داخل منطقه‌ی دارای رطوبت کم با تخلخل مشابه[3]، معمولاً در دامنه ۱۰- تا۳۰- کیلوپاسکال می‌باشد. حرکت آب به‌وسیله‌ی جریان غیراشباع تداوم خواهد داشت، اما میزان حرکت بسیار کند می‌باشد زیرا جریان حال عمدتاً ناشی از نیروهای موبینه می‌باشد که فقط در منافذ ریز مؤثر می‌باشد(شکل ۳۰-۵). آب موجود در منافذ چنان کوچک، که بتواند آنرا درمقابل زه‌کشی ثقلی سریع نگهداری نموده اما در عین حال چنان بزرگ که امکان جریان موبینه را در پاسخ به شیب پتانسیل ماتریک فراهم سازد، این آب بعضی مواقع آب موبینه[4] نامیده می‌شود.

درحالی‌که تمام آب خاک تحت تأثیر ثقل می‌باشد، واژه‌ی آب ثقلی مربوطه به بخشی از آب خاک است که به‌آسانی در فاصله حداکثر ظرفیت نگهداشت و ظرفیت مزرعه زه‌کشی می‌شود. اکثر آبشویی داخلی خاک[5] به‌صورت آب ثقلی انجام می‌گیرد که از منافذ درشت قبل از رسیدن به ظرفیت مزرعه زه‌کش می‌شود. آب ثقلی بنابراین شامل بیشتر آبی می‌باشد که مواد شیمیایی مانند یون‌های غذایی، آفت‌کش‌ها، و آلاینده‌های آلی را به‌داخل آب زیرزمینی و نهایتاً به‌داخل رودخانه‌ها حمل می‌کنند.

---

[1] - Gravitational water
[2] - Field capacity
[3] - توجه کنید به خاطر رابطه‌ی مربوط به حرکت در خاکهای مطبق (بخش ٦-٥) زهکشی در خاک یک گلدان وقتی هنوز مرطوب‌تر از ظرفیت مزرعه است متوقف می‌شود.
[4] - Capillary water
[5] - Soil leaching



شکل ۳۰-۵ حجم آب‌وهوای همراه با ۱۰۰ گرم خاک لوم سیلتی داری دانه‌بندی خوب در سطوح مختلف رطوبتی. ردیف بالا وضعیتی را نشان می‌دهد که خاک مورد نظر کاملا از آب اشباع شده باشد، این وضعیت معمولاً برای مدت کوتاهی در اثنای بارندگی و یا انجام آبیاری برقرار است. آب به‌زودی از منافذ درشت خالی شده و گفته می‌شود خاک در ظرفیت مزرعه می‌باشد. گیاهان رطوبت را از خاک به‌سرعت برداشت نموده تا این‌که شروع به پژمردگی کنند، وقتی که پژمردگی دائمی در گیاهان انجام گیرد، می‌گویند رطوبت خاک در حد ضریب پژمردگی است. در این حال هنوز رطوبت قابل‌توجهی در خاک موجود است، اما با شدت بسیار زیادی نگاهداری شده و قابل‌جذب به‌وسیله‌ی گیاهان نمی‌باشد. کاهش بیشتر رطوبت تا حد ضریب نم‌گیری در ردیف آخر تشریح شده است ودر این حال آب با شدت بسیار بیشتری، عمدتاً به‌وسیله‌ی کلوییدهای خاک نگاهداری شده است.

ظرفیت مزرعه واژه‌ای بسیارمفید است. زیرا دلالت برمیزان خیسی تقریبی خاک دارد که در آن چندین ویژگی مهم خاک درحال‌گذراست:

۱- درظرفیت مزرعه خاک حداکثر آب قابل‌استفاده را برای گیاهان نگهداری می‌کند. آب اضافی که با انرژی کمتری نگهداری می‌شود دارای استفاده‌ی محدودی برای گیاهان است، زیرا قبل از زه‌کشی زمان کوتاهی در خاک باقی می‌ماند. این آب درداخل خاک در منافذ درشت قرار داشته، بنابراین سبب کاهش تهویه می‌شود. زه‌کشی آب ثقلی معمولاً لازمه‌ی رشد بهینه نبات است (نباتات آب‌دوست مثل برنج و لولی استثناء می‌باشند).

۲- در ظرفیت مزرعه خاک نزدیک حد پایین شکل‌پذیری می‌باشد و آن بدین‌معنی است که خاک در رطوبت کمتر از ظرفیت مزرعه به‌صورت شبه جامد شکننده، و در رطوبت بالاتر از ظرفیت مزرعه به‌صورت ماده شکل‌پذیر بتونه مانند، که به آسانی به گل تبدیل می‌شود عمل می‌کند(بخش ۹-٤ را مشاهده کنید)، بنابراین ظرفیت مزرعه به‌طور تقریبی بیانگر رطوبت بهینه برای خاک ورزی و کندن خاک است.

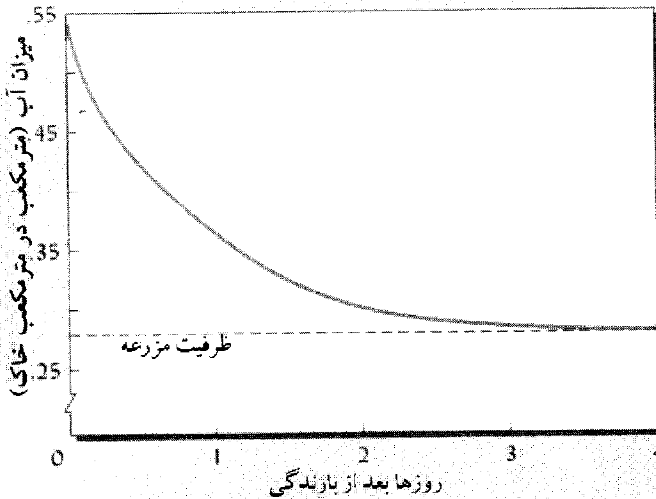
۳- درظرفیت مزرعه حجم کافی منافذ مملو از هوا می‌باشد که امکان تهویه را برای فعالیت میکروبی هوازی وبرای رشد اکثرگیاهان امکان‌پذیر می‌سازد

درصد پژمردگی دایم یا ضریب پژمردگی[1]

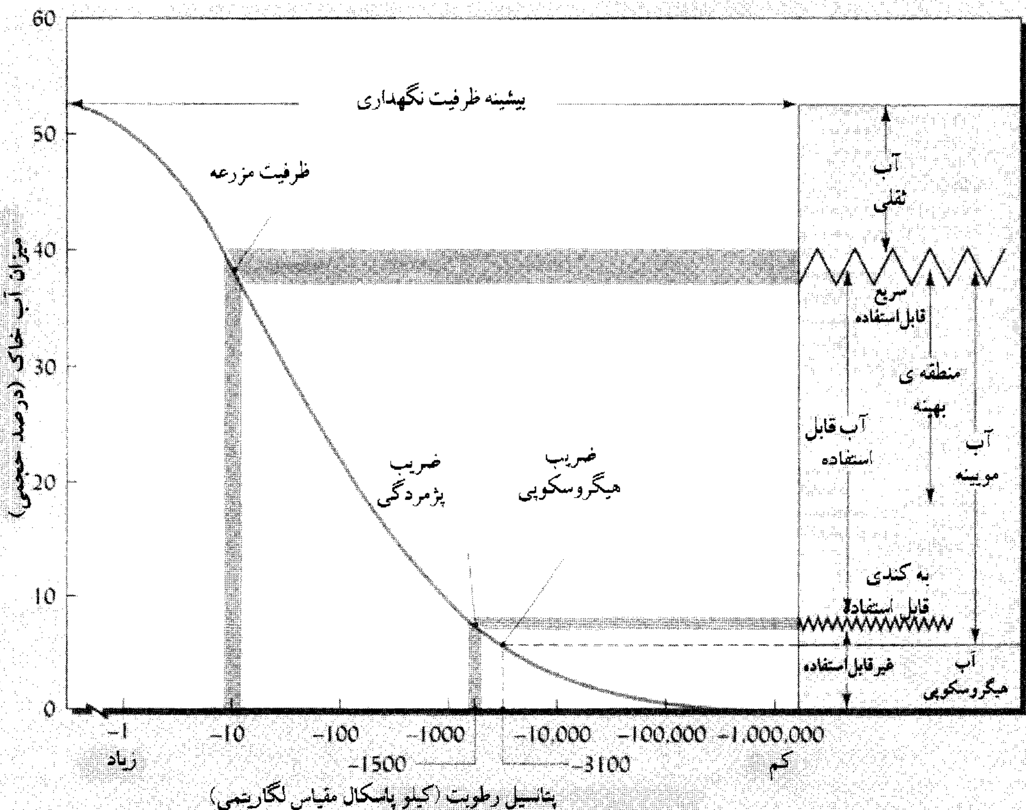
وقتی یک خاک بدون گیاه تا رسیدن به ظرفیت مزرعه زه‌کشی شود. خشک‌شدن بیشتر کاملاً آرام است، به‌خصوص اگر سطح خاک برای کاهش تبخیر دارای پوشش باشد. هرچند اگر گیاهان در خاک در حال رشد باشند آن‌ها آب را از منطقه انتشار ریشه بر می‌دارند و خاک به

[1] - Permanent Wilting percentage or Wilting Coeficint

خشک‌شدن ادامه می‌دهد. ریشه گیاهان ابتدا آب را از درشت‌ترین منافذ مملو از آب که درآن‌جا پتانسیل آب نسبتاً بالا می‌باشد برداشت می‌کند. وقتی این منافذ خالی شدند، ریشه آب خود را از منافذ کوچک و کوچک‌تر و لایه‌های آب نازک‌تر که درآن‌ها پتانسیل ماتریک آب پایین‌تر بوده و نیروهای که آب را به سطح مواد جامد جذب می‌کنند بیشتر می‌باشند فراهم خواهد کرد، هرچند برای گیاهان برداشت این آب از خاک به‌مقدارکافی برای رفع نیازهای آن‌ها به‌طور مداوم مشکل و مشکل‌تر خواهد شد.



شکل ۳۱-۵ میزان آب خاک براثر زه‌کشی، به‌دنبال اشباع خاک به‌وسیله‌ی بارندگی یا آبیاری به‌سرعت کاهش می‌یابد. بعداز دو یا سه روز میزان خروج آب از خاک کاملاً آهسته گردیده و گفته می‌شود که خاک درحالت ظرفیت مزرعه است.



شکل ۳۲-۵ منحنی مقدار آب- پتانسیل ماتریک یک خاک لومی در رابطه با واژه‌های به‌کار رفته برای تشریح آب در خاک. خطوط موجی در تصویر در سمت راست مطرح می‌سازد که اندازه‌گیری‌هایی مانند ظرفیت مزرعه فقط تقریبی می‌باشد. تغییر تدریجی در پتانسیل با تغییرات رطوبت، فرضیه‌ی اشکال مختلف رطوبت را در خاک کمرنگ می‌سازد. گرچه واژه‌هایی مانند ثقلی و قابل‌استفاده در تشریح کیفی استفاده از آب به ما کمک می‌کنند

به‌محض خشک‌شدن خاک، ممکن‌است میزان برداشت آب به‌وسیله‌ی گیاه قادر به فراهم‌کردن نیاز گیاه نباشد و گیاهان در روز ممکن‌است برای حفظ رطوبت شروع به پژمرده‌شدن کنند. ابتدا گیاهان در شب، که آب از برگ هدر نمی‌رود و ریشه‌ها می‌توانند با تقاضای آب گیاه کنار بیایند، شادابی خود را حفظ می‌کنند. نهایتاً، وقتی ریشه نتواند پتانسیل چنان پایینی ایجاد کنند که آب باقی‌مانده را از خاک به‌دست آورد، گیاه شب و روز پژمرده باقی خواهد ماند. اگرچه هنوز گیاه نمرده است، اما حال دریک شرایط پژمردگی دایم بوده و اگر آب فراهم نشود گیاه می‌میرد. برای اکثر گیاهان وقتی پتانسیل ماتریک آب ψ، ۱۵۰۰- کیلوپاسکال (۱۵- بار) باشد این شرایط ایجاد می‌شود. چند نبات، به‌ویژه گیاهان خشکی‌پسند (گیاهان بیابانی) می‌توانند به برداشت آب تا ۱۸۰۰- و یا ۲۰۰۰- کیلوپاسکال نیز ادامه دهند اما مقدار آب قابلِاستفاده بین ۱۵۰۰- تا ۲۰۰۰- پاسکال بسیار پایین می‌باشند (شکل ۳۲-۵).

به مقدار آب خاک در این مرحله ضریب پژمردگی و یا درصد پژمردگی دایم اطلاق می‌شود و طبق قرارداد، آن مقدار آبی است که وقتی پتانسیل آب خاک ۱۵۰۰- کیلوپاسکال است در خاک نگهداری می‌شود. خاک خشک گردی به‌نظر می‌رسد، گرچه مقداری آب در کوچک‌ترین منافذ و لایه‌های نازک‌تر(شاید فقط با ۱۰ مولکول ضخامت) در دور ذرات انفرادی (شکل ۳۰-۵ را مشاهده کنید) نگهداری می‌شود.

همان‌طورکه در شکل ۳۲-۵ تشریح شده است، آب قابلِاستفاده نبات[1] آبی است که در خاک بین ظرفیت مزرعه و ضریب پژمردگی دایم (بین پتانسیل ۱۰- و ۳۰- کیلوپاسکال و ۱۵۰۰- کیلوپاسکال) وجود دارد. مقدار آب مویینه باقی‌مانده در خاک که برای گیاهان قابلِاستفاده نیست می‌تواند به‌خصوص، درخاک‌های بافت ریز و یا خاک‌های دارای ماده آلی زیاد بالا باشد.

جدول ٤-٥ مقدار حجمی رطوبت θ در ظرفیت مزرعه و ضریب نم‌گیری در سه خاک معرف و آب مویینه محاسبه شده. توجه داشته باشند که خاک رسی قسمت بیشتر آب را در ظرفیت مزرعه نگهداری می‌کند. اما قسمت اعظم آن آب در پتانسیل ۳۱- بار به‌وسیله‌ی کلوییدهای خاک(ضریب نم‌گیری) نگهداری شده‌اند.

خاک	درصد حجمی رطوبت		
	ظرفیت مزرعه ۳۰-تا۱۰- Kpa	ظرفیت نم‌گیری ۳۱۰۰- kp	آب مویینه (ستون اول- دوم)
لوم شنی	۱۲	۳	۹
لوم سیلتی	۳۰	۱۰	۲۰
رسی	۳۵	۱۸	۱۷

ضریب هیگروسکوپیک (جذب نم از هوا)

اگرچه ریشه‌های نبات معمولاً نمی‌توانند خاک را پایین‌تر از درصد پژمردگی دایم خشک کنند، اگر خاک در معرض هوا قرار گیرد کاهش آب براثر تبخیر ادامه خواهد یافت. وقتی رطوبت خاک به پایین‌تر از نقطه پژمردگی رسید، مولکول‌های آب باقی‌مانده به‌وسیله‌ی سطوح کلوییدی خاک به‌شدت نگهداری خواهند شد. در این حالت که هوای بالای خاک تقریباً از بخار آب اشباع است(رطوبت نسبی ۹۸ درصد) تعادل در پتانسیل ۳۱۰۰- کیلوپاسکال برقرار خواهد شد. به‌نظر می‌رسد که آب در لایه‌هایی به ضخامت ۴ تا ۵ مولکول دور ذرات قرار داشته و چنان محکم نگهداری می‌شود که به‌صورت غیرمایع در نظر گرفته شده و فقط می‌تواند به‌صورت بخار حرکت کند. مقدار آب خاک در این نقطه ضریب هیگروسکوپیک نامیده می‌شود. در خاک‌های دارای مواد کلوییدی(رس و هموس) زیاد در این حالت آب بیشتری از خاک‌های شنی که دارای رس و هموس کم‌تری هستند، نگهداری می‌کنند(جدول ۴-۵). آب غیرقابلِاستفاده برای نبات شامل آب هیگروسکوپیک و همین‌طور آب مویینه پایین‌تر از ۱۵۰۰- کیلوپاسکال می‌باشد(شکل۳۲-۵ را مشاهده کنید).

۹-۵ عوامل مؤثر در میزان آب قابلِاستفاده نبات

مقدار آب قابلِاستفاده برای جذب گیاهان به‌وسیله‌ی عوامل چندی تعیین می‌شود که شامل روابط مقدار آب- پتانسیل در هرافق، اثرات مقاومت کششی و چگالی در رشد ریشه، عمق خاک، عمق ریشه ومطبق‌بودن و یا لایه‌بندی خاک می‌باشند، که هرکدام به‌اختصار تشریح می‌شوند.

[1] - Plant available water

پتانسیل ماتریک

پتانسیل ماتریک در مقدار رطوبتی که گیاهان می‌توانند جذب کنند مؤثر است، زیرا ایـن پتانسـیل در مقـادیر آب در ظرفیـت مزرعـه و ضریب پژمردگی مؤثر می‌باشد. این دو خصوصیت که مقدار آب فراهم شده به‌وسیله‌ی یک خاک مورد نظر را برای رشد گیاهـان مشـخص می‌کند خود تحت تأثیر بافت، ساختمان ومقدار مواد آلی خاک می‌باشد.

تأثیر کلی بافت برروی ظرفیت مزرعه، ضریب پژمردگی و ضریب نگهداری آب قابلِ‌استفاده در شکل ۳۳-۵ نشان داده شده است. توجه داشته باشید هرچه ریزبودن بافت خاک افزایش یابد یک افزایش کلی در ذخیره‌ی رطوبت قابلِ‌استفاده از شن‌ها به لوم‌هـا و سـیلت لـوم‌هـا حاصل خواهد شد، هر چند خاک‌های رسی معمولاً آب قابلِ‌استفاده کمتری از لوم سیلتی‌های خاکدانه‌ای ارایه می‌کنند، زیرا رس‌هـا تمایـل دارند دارای ضریب پژمردگی بالاتری باشند.

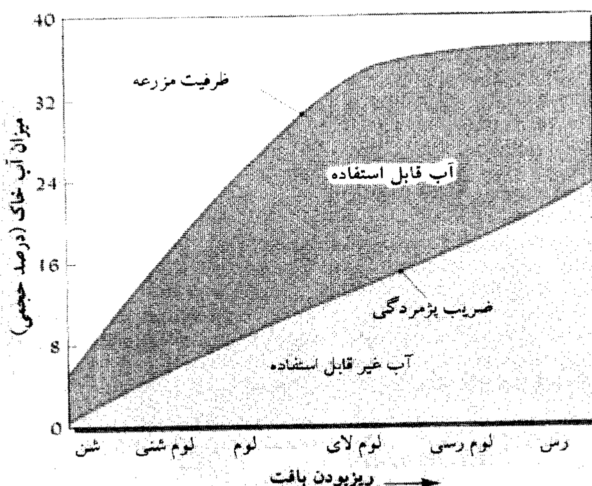
تأثیر ماده‌ی آلی در خور توجه بیشتری است، میزان رطوبت قابلِ‌استفاده یک خاک معدنی با زه‌کشی مناسب کـه دارای ۵٪ مـاده‌ی آلـی است معمولاً از خاکی مشابه که دارای ۳٪ ماده آلی است بالاتر است. بحث‌های زیادی وجود دارد که چه میزان از این اثر مطلوب مسـتقیماً ناشی از توانایی فراهم‌کردن آب ماده‌ی آلی و چه مقدار ناشی از اثرات غیرمستقیم ماده آلی بر ساختمان و کل منافـذ خـاک اسـت. اکنـون شواهدی در دست است که هردو عامل مستقیم و غیرمستقیم اثرات مفید ماده آلی در قابلیت استفاده آب خاک شرکت دارند.

اثرات مستقیم مربوط به ظرفیت بسیار بالای نگهداری آب به‌وسیله‌ی ماده‌ی آلی می‌باشد، وقتی خاک در ظرفیت مزرعه است رطوبت آن بسیار بالاتر از ماده‌ی معدنی با حجم مشابه می‌باشد. گرچه آب نگهداری شده به‌وسیله‌ی ماده‌ی آلی در نقطه پژمردگی نیز تا حدی بـالاتر از آب نگهداری شده به‌وسیله‌ی مواد معدنی است، اما مقدارآب قابلِ‌استفاده برای جذب گیاه در ماده آلی بالاتر اسـت شـکل ۳٤-۵ اطلاعـات مربوط به یک مجموعه از آزمایش‌های صحرایی را برای اثبات این استنباط ارائه می‌کند.

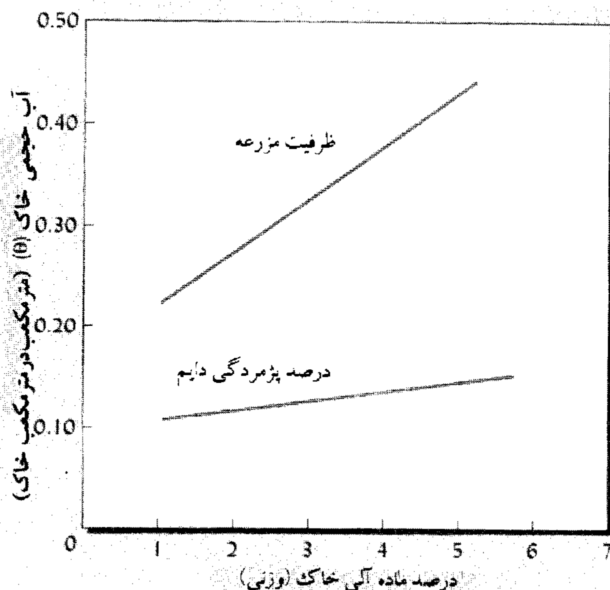
ماده‌ی آلی به‌طور غیرمستقیم درمقدار آب قابلِ‌استفاده ازطریق تأثیر آن در ساختمان و کل منافذ مؤثر می‌باشد. ما در بخش ۷-٤ آموختیم ماده‌ی آلی باعث ثبات ساختمانی و افزایش حجم کل و همین‌طور اندازه‌ی منافذ می‌شود. این خود سبب افزایش در نفوذپـذیری و ظرفیـت نگهداری آب و افزایش همزمان در مقدار آب نگهداری شده در ضریب پژمردگی می‌گردد. تشخیص اثرات مفید مـاده‌ی آلـی بـر روی آب قابلِ‌استفاده نبات برای مدیریت بخردانه‌ی خاک اساسی می‌باشد.

اثرات تراکم بر پتانسیل ماتریک، تهویه و رشد گیاهان

تراکم خاک معمولاً سبب کاهش مقدار آبی است که گیاهان می‌توانند جذب کنند. چهار عامل علت این اثر منفی به‌حساب می‌آینـد. اول، تراکم سبب خردشدن بسیاری از منافذ درشت به منافذ کوچک‌تر خواهد شد. وقتی ذرات رس در اثـر فشـار بـه یکـدیگر نزدیـک شـوند ممکن‌است مقاومت خاک به بالاتر از ۲۰۰۰ کیلوپاسکال برسد، سطحی که به‌عنوان محدودکننده‌ی انتشار ریشه قلمداد می‌شود. دوم، کاهش در منافذ درشت معمولاً به‌این معنی است که آب کمتری در ظرفیت مزرعه نگهداری می‌شود. سوم، با کاهش میزان منافذ درشت،وقتی خاک در نزدیکی ظرفیت مزرعه است منافذ تهویه‌ای کمتری وجود خواهد داشت. چهارم، ایجاد منافذ خیلی ریـز بیشـتر سـبب افـزایش ضـریب پژمردگی دایم و بنابراین کاهش میزان آب قابلِ‌استفاده می‌باشد.

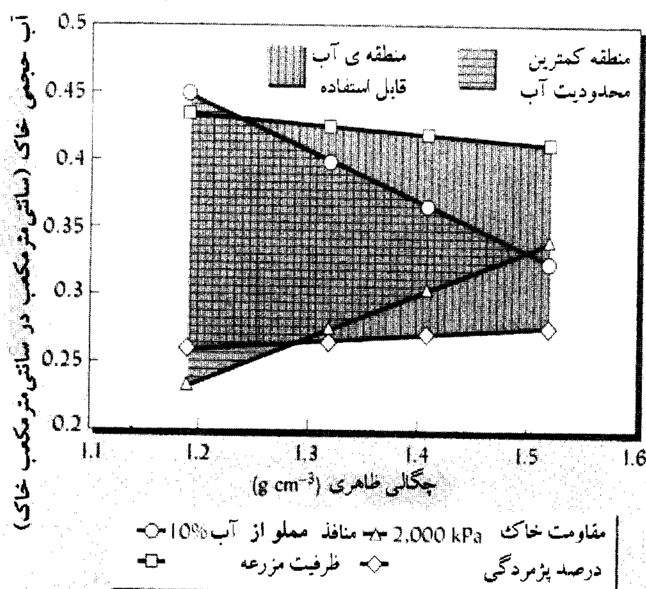


شکل ۳۳-۵ رابطه‌ی کلی بین ویژگی‌هـای آب خـاک وبافت خاک. توجه کنید که ضریب پژمردگی هنگامی‌که بافت خاک ریزتر می‌شود افزایش می‌یابد. ظرفیت مزرعـه تا رسیدن به لوم سیلتی اضافه گردید و از آن پـس ثابـت می‌ماند. به‌خاطر داشته باشید که این منحنی‌ها برای نمونـه آورده شده‌اند، هر خاکی ممکن‌است مقادیری متفـاوت از آنچه نشان داده شده است را داراباشند.



شکل ۳٤-٥ اثرات میزان ماده‌ی آلی برروی ظرفیت مزرعه و ضریب پژمردگی دایم در تعدادی از خاک‌های لوم سیلتی. تفاوت در بین دو خط میزان آب قابلِاستفاده را نشان می‌دهد، که به‌طور آشکار در خاک‌های داری ماده‌ی آلی بالاتر زیادتر است.

چهارعامل همراه تراکم خاک درتلفیق باهم قرار گرفته‌اند تا دامنه آب قابلِاستفاده‌ای را که برای ریشه گیاه کمترین محدودیت را داراست تبیین کنند. همان‌طورکه برای یک لوم رسی شاخص درشکل ۳۵-٥تشریح شده است. برای خاک‌های نسبتاً غیرمتراکم اختلاف کمی بین اب قابلِاستفاده گیاه (ظرفیت مزرعه منهای درصد پژمردگی دایم) و دامنه‌ی کمترین محدودیت[1] آب (بین ۱۰ درصد منافذ تهویه‌ای و مقاومت محدودکننده‌ی ریشه) موجود می‌باشد. هرچند برای یک خاک متراکم با توجه به استاندارد دوم آب قابلِاستفاده کمتری در نظر گرفته می‌شود. (منطقه هاشورزده در شکل ۳۵-٥)



شکل ۳۵-٥ تأثیر افزایش وزن مخصوص ظاهری بر روی دامنه آب قابلِاستفاده برای جذب نبات. به طور سنتی، آب قابلِاستفاده گیاه آبی است که بین ظرفیت مزرعه ودرصد پژمردگی نگهداری شده باشد(هاشور عمودی). اگر خاک متراکم شده باشد استفاده از آب به‌وسیله‌ی گیاه در اثر تهویه ضعیف (کمتر از ۱۰ درصد منافذ تهویه‌ای) در مقادیر آب بالا و در اثر مقاومت خاک (بیشتر از ۲۰۰۰ پاسکال) در مقادیر آب پایین که سبب کاهش انتشار ریشه می‌شود، دچار محدودیت می‌گردد. استاندارد دوم بیانگر دامنه کمترین محدودیت آب بوده و به‌وسیله‌ی هاشور افقی مشخص می‌شود. وقتی خاک متراکم نباشد (وزن مخصوص ظاهری ۱/۲۵ برای خاک تشریح شده) محدوده‌ی دو استاندارد نتایج مشابهی به‌دست می‌دهد.

پتانسیل موبینه

حضور نمک‌های محلول، چه از منابع کودهای شیمیایی و چه از ترکیبات طبیعی، می‌تواند در جذب آب به‌وسیله‌ی گیاه تأثیر بگذارد. برای خاک‌های دارای نمک زیاد تنش کل رطوبتی شامل پتانسیل موبینه ψo محلول خاک و همچنین پتانسیل ماتریک ψm می‌باشد. پتانسیل اسمزی تمایل دارد که رطوبت قابلِاستفاده را در این خاک کاهش دهد، زیرا آب بیشتری در ضریب پژمردگی دایم درمقایسه با تنها پتانسیل

1- Least – limiting water

ماتریک در خاک نگهداری می‌شود. در خاک‌های اکثر مناطق مرطوب این اثرات پتانسیل اسمزی بی‌اهمیت است، اما برای خاک‌های به‌خصوص درمناطق خشک، که ممکن‌است نمک‌های محلول در اثر آبیاری و یا فرایندهای طبیعی در آن‌ها تجمع یابد دارای اهمیت قابلِ‌توجهی خواهد شد.

عمق خاک و لایه‌بندی

بحث ما تا حال مربوط به آب قابلِ‌استفاده به‌عنوان درصدی از حجم خاک، شامل منافذی بود که می‌توانند آب را در توان‌های بین ظرفیت مزرعه و درصد پژمردگی نگهدارند. کل حجم آب قابلِ‌استفاده وابسته به حجم کل خاک است که ریشه گیاهان از آن استفاده می‌کنند این حجم ممکن‌است تحت سیطره‌ی عمق کل خاک در بالای لایه‌های محدودکننده ریشه، بیشترین عمق ریشه که خصوصیت هر گونه‌ی خاص نباتی است و یا حتی اندازه گلدان انتخاب شده برای گیاهان گلدانی باشد. عمق خاک قابلِ‌استفاده برای کندوکاو ریشه در گیاهان ریشه عمیق از اهمیت بالایی برخوردار است به‌خصوص در مناطق نیمه‌مرطوب تا خشک که زنده‌مانی گیاهان چندساله وابسته به رطوبت ذخیره شده در خاک در طول دوره‌های طولانی بدون بارندگی می‌باشد. (شکل ۵-۱).

مطبق‌بودن و یا لایه‌بندی خاک بر آب قابلِ‌استفاده و حرکت آن در خاک به‌طور بارزی تأثیرگذار است. لایه‌های غیرقابلِ‌نفوذ میزان حرکت آب را کاهش داده و انتشار ریشه‌ی گیاهان رانیز محدود می‌کنند و درنتیجه عمق خاکی را که از آن رطوبت می‌تواند خارج گردد کاهش می‌دهند. لایه‌های شنی نیز همچنین به‌عنوان مانعی در مقابل حرکت رطوبت از طبقات فوقانی خاک دارای بافت سنگین همان‌طورکه در بخش ۷-۵و شکل ۲۷-۵ گفته شد عمل می‌کنند.

گنجایش خاک برای ذخیره آب قابلِ‌استفاده مفیدبودن آن‌ها را تا حدی زیادی برای رشد گیاه مشخص می‌سازد. توان تولید مناطق جنگلی اغلب مربوط به ظرفیت نگهداری آب خاک است. این ظرفیت یک پشتیبان بین اقلیم نامناسب و تولید گیاهی فراهم می‌سازد و در خاک‌های تحت آبیاری در تعیین دفعاتی که آب باید اعمال گردد به‌ما کمک می‌کند. ظرفیت نگهداری آب خاک هنگامی‌که استفاده از آب برای منظورهای مختلف، صنعتی و خانگی، و همین‌طور آبیاری عرضه‌ی این مهمترین منبع طبیعی را زیر فشار می‌گذارند، اهمیت بیشتری پیدا خواهد کرد. برای برآورد ظرفیت نگهداری آب یک خاک، هر افق که ریشه گیاهان به آن دسترسی دارندباید جداگانه مورد ملاحظه قرار گیرد و سپس برای تعیین کل ظرفیت نگهداری خاکرخ با همدیگر جمع گردند (تابلو ۳-۵ رامشاهده کنید).

۱۰-۵ سازوکاری که به‌وسیله‌ی آن آب برای گیاهان فراهم می‌شود.

درهر زمان فقط بخش کوچکی از آب خاک در مجاورت سطح جذب‌کننده‌ی ریشه گیاهان قرار دارد. پس چگونه ریشه‌ی گیاهان به‌مقدار فراوان آب، که به‌وسیله‌ی گیاهان دارای سرعت رشد زیاد مصرف می‌شود، دسترسی پیدا خواهند کرد (بخش ۳-٦ را مشاهده کنید). دو پدیده را باید در این دسترسی به‌حساب آورد: حرکت مویینه‌ای آب خاک به ریشه گیاهان ورشد ریشه در داخل خاک مرطوب.

میزان حرکت مویینه

وقتی ریشه‌های فرعی گیاهان آب را جذب می‌کنند رطوبت خاک را کاهش داده و بنابراین پتانسیل آب خاک را در نزدیکی خود پایین می‌آورند(شکل ۳٦-۵ را مشاهده کنید) در پاسخ به این کاهش پتانسیل آب به‌طرف ریشه گیاهان حرکت می‌کند. میزان حرکت به بزرگی شیب پتانسیل ایجاد شده و هدایت آبی منافذ خاک بستگی دارد. در بعضی خاک‌های شنی تنظیم وضعیت در مقایسه با دیگر خاک‌ها سریع بوده و میزان جریان اگر خاک در نزدیک ظرفیت مزرعه باشد قابلِ‌توجه است. در خاک‌های ریزبافت و رس‌ها با دانه‌بندی نامناسب حرکت آهسته بوده و فقط مقادیر اندک آب منتقل خواهد شد. هرچند همان‌طورکه در تغییرات نسبی که در هدایت آبی گفته شد (شکل ۲۲-۵)، در شرایط خشک‌تر با آب نگهداری شده در پتانسیل کمتر خاک‌های رسی قادر هستند آب بیشتر را براثر مویینه نسبت به خاک شنی منتقل کنند، زیرا خاک‌های شنی در این وضعیت منافذ اندکی مملو از آب دارند.

فاصله کلی که آب براثر حرکت مویینه در یک شبانه‌روز طی می‌کند ممکن‌است چند سانتی‌متر بیشتر نباشد (شکل ۳۷-۵). این ممکن‌است ما را به این باور برساند که حرکت آب به‌وسیله‌ی مویینه راه مطمئنی برای جذب آب به‌وسیله‌ی گیاهان نمی‌باشد، بلکه درصورت انتشار ریشه‌ها در بخش اعظم حجم خاک، به‌طوری‌که فاصله‌ی تک‌تک ریشه‌ها از چندسانتی‌متر بیشتر نباشد، حرکت آب به فاصله‌های دورتر ضرورتی نخواهد داشت. حتی درطول فواصل زمانی که رطوبت و توسعه ریشه در کمینه مقدار خود می‌باشد، این حرکت اهمیت فوق‌العاده زیادی خواهد داشت.

تابلو ۳-۵ محاسبه‌ی کل ظرفیت نگهداری آب قابل‌استفاده یک خاکرخ

مقدار کل آب قابل‌استفاده برای رشد نبات در خاک مزرعه تابعی از عمق ریشه نبات و جمع آب نگهداری شده بین ظرفیت مزرعه ودرصد پژمردگی در هر افق خاک مورد کندوکاو ریشه‌ها می‌باشد. پس برای هر افق خاک ظرفیت نگهداری آب خاک به‌عنوان تفاوت بین جرم آب خاک θm (مگاگرم آب در ۱۰۰ مگاگرم خاک) در ظرفیت مزرعه و درصد پژمردگی دایم برآورد می‌شود. این عدد می‌تواند با ضرب‌کردن در وزن خصوص ظاهری خاک به حجم آب خاک θ تبدیل شود. نهایتاً، این نسبت حجم در ضخامت افق برای ارایه ظرفیت آب استفاده (Awc) ضرب می‌شود برای افق اول که درجدول ۵-۵ تشریح شده است محاسبات بدین شرح است.

$$\text{سانتی‌متر آب قابل‌استفاده ۳/۳۶} = \text{۲۰Cm} \times \frac{m^3}{\text{۱مگاگرم}} \times \frac{\text{۱/۲ مگاگرم}}{m^3} \times \frac{\text{۸ گرم}}{\text{۱۰۰ گرم}} - \frac{\text{۲۲ گرم}}{\text{۱۰۰ گرم}}$$

توجه کنید که واحدها، به‌استثنای سانتی‌متر که عمق آب قابل‌استفاده نگهداری شده به‌وسیله‌ی افق مربوط است حذف می‌شوند، در جدول ۵-۵ آب قابل‌استفاده تمام افق‌ها درمنطقه ریشه به یکدیگر افزوده شده‌اند تا آب قابل‌استفاده کل را در نظام خاک نبات به‌دست دهد. از آن‌جاکه ریشه‌ای در آخرین افق (۱/۲۵-۱ متر) انتشار نیافته است این افق در محاسبات منظور نگردیده است. در فصل تابستان با مصرف ۵/. سانتی‌متر در روز این خاک برای چهار هفته آب تهیه می‌کند.

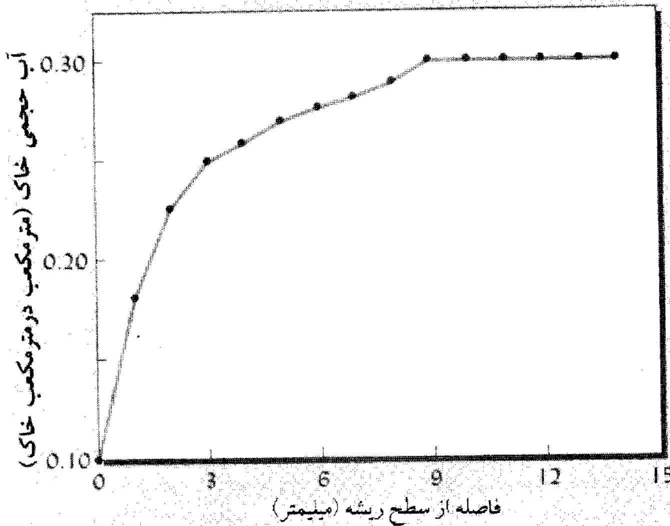
جدول ۵-۵ محاسبه ظرفیت نگهداری آب قابل‌استفاده خاکرخ

عمق خاک	عمق نسبی ریشه	وزن خالص ظاهری خاک مگاگرم بر مترمکعب	ظرفیت مزرعه FC گرم در۱۰۰گرم	درصد پژمردگی WP گرم درصدگرم	ظرفیت نگهداری آب قابل‌استفاده AWC سانتی‌متر
۰-۲۰	×××××××××	۱/۲	۲۲	۸	۲۰×۱/۲ (۲۲-۸)=۳/۳۶Cm / ۱۰۰
۲۰-۴۰	××××	۱/۴	۱۶	۷	۲۰×۱/٤ (۱٦-۷)=۳/۵۲Cm / ۱۰۰
۴۰-۷۵	××	۱/۵	۲۰	۱۰	۳۵×۱/۵ (۲۰-۱۰)=۵/۵۲Cm / ۱۰۰
۷۵-۱۰۰	××	۱/۵	۱۸	۱۰	۲۵×۱/۵ (۱۸-۱۰)=۳Cm / ۱۰۰
۱۰۰-۱۲۵	-	۱/٦	۱۵	۱۱	ریشه‌ای موجود نیست
جمع					۳/۳٦+۲/۵۲+۲/۲۵+۳=۱٤/۱۳Cm

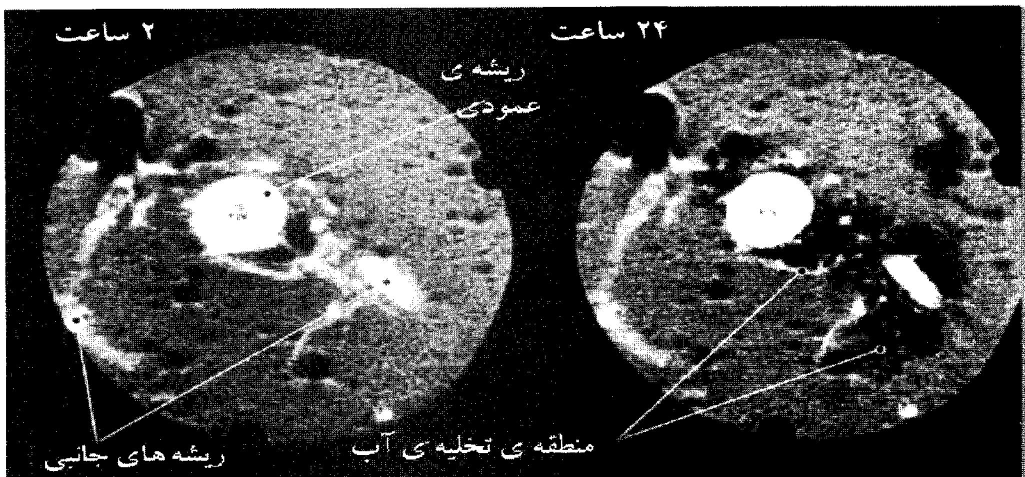
میزان توسعه‌ی ریشه‌ها

حرکت مویینه‌ی آب با توسعه سریع ریشه گیاهان تکمیل گشته و برقراری تماس ریشه‌های جدید را در خاک به‌طور مداوم تضمین می‌کند. انتشار و توسعه‌ی ریشه‌ها ممکن‌است چنان سریع باشد که تمام نیازهای گیاهان درحال رشد را درخاک دارای رطوبت بهینه فراهم کند. توده‌ی ریشه، ریشه‌های فرعی و ریشه‌های مویی دریک چمن‌زار و یا کف جنگل مثالی از سامانه بسیار فعال ریشه گیاهان می‌باشد. جدول(٦-۵) اطلاعاتی را در مورد طول ریشه‌ی سویا در یک آزمایش ارائه می‌دهد. این ارقام طول هزاران ریشه مویی را که معلوم شده است به‌فاصله چندین میلی‌متر از سطح ریشه اصلی در خاک انتشار می‌یابند، شامل نمی‌باشند.

محدودیت اصلی توسعه‌ی ریشه این است که ریشه‌ها در هر زمان با بخش کوچکی از خاک در تماس می‌باشند. اگرچه سطح ریشه‌ها همان‌طورکه در جدول ٦-۵ آمده است بسیار قابل‌ملاحظه می‌باشند، سطح تماس ریشه و خاک معمولاً کمتراز یک درصد سطح کل خاک را تشکیل می‌دهند. و این بدان‌معنی است که بخش عمده‌ی آب باید از خاک به‌طرف ریشه حرکت کند، گرچه فاصله حرکت ممکن‌است از چند میلی‌متر بیشتر نباشد همچنین این امر تلفیق حرکت مویینه و توسعه ریشه‌هارا به‌عنوان وسیله‌ای برای فراهم‌کردن آب گیاهان مطرح می‌کند.



شکل ۳۶-۵ پایین‌آمدن میزان آب خاک در اطراف ریشه‌ی تربچه فقط بعد از ۲ ساعت تعرق. آب به‌وسیله‌ی حرکت موویینه حداقل در فاصله‌ی ۹ میلی‌متر از سطح ریشه به حرکت درآمده است.



شکل ۳۷-۵ رابطه تنگاتنگ خاک- ریشه و تخلیه‌ی سریع آب در نزدیکی ریشه در این دو تصویر تشدید ارتعاش مغناطیسی (MRI) یک لایه‌ی ۲میلی‌متری از مقطع ۲۵ میلی‌متری یک شن مرطوب در اطراف ریشه نهال درخت کاج لابلالی. (تصویر سمت چپ) یک ریشه‌ی عمودی(دایره سفید بزرگ) و ۲ ریشه‌ی چوبی جانبی (منطقه‌ی سفید دراز در سمت راست و منطقه‌ی L شکل روشن در سمت چپ) فقط ۲ ساعت پس از فراهم‌کردن آب. به تخلیه‌ی مقداری آب در نزدیکی ریشه‌ی اصلی توجه کنید (منطقه سیاه در سمت راست ریشه اصلی).(تصویر سمت راست) پس از ۲٤ ساعت منطقه‌ی تخلیه آب (منطقه‌ی سیاه‌رنگ در اطراف ریشه) در اطراف ریشه اصلی و ریشه جانبی سمت راست توسعه یافته است و حرکت آسان آب به‌سمت ریشه‌ها آشکار است.

توزیع ریشه‌ها

توزیع ریشه‌ها در خاکرخ، توانایی نبات را برای جذب آب تا حد زیادی معین می‌کند بیشتر گیاهان، یکساله و چندساله بیشترین حجم ریشه‌ی خود را در عمق ۳۰-۲۵ سانتی‌متری خاکرخ دارا می‌باشند (جدول ۷-۵). گیاهان چند ساله مانند یونجه و درختان دارای ریشه‌های می‌باشند که تا عمق خیلی زیادی (بیشتر از ۳ متر) رشد کرده و قادرند بخش اعظم رطوبت مورد نیاز خود را از لایه‌های تحت‌الارض به‌دست‌آورند. گرچه در این موارد نیز به‌نظر می‌رسد که درصورت فراهم‌کردن آب قسمت بیشتر جذب از لایه‌های فوقانی صورت گیرد. از طرف دیگر، اگر در لایه‌های فوقانی خاک کمبود رطوبت وجود داشته باشد حتی گیاهان یکساله مانند ذرت و سویا بیتشرین آب مورد نیاز خود را از افق‌های پایین فراهم می‌کنند با این شرط که شرایط نامساعد فیزیکی و شیمیایی برای آن‌ها در استخراج آب از این لایه‌ها وجود نداشته باشند.

جدول ٦-٥ طول ریشه سویا در عمق‌های مختلف در خاک لوم سیلت کاپتنا (تیپیک فراجی یودولت) ارکانزاس[1]

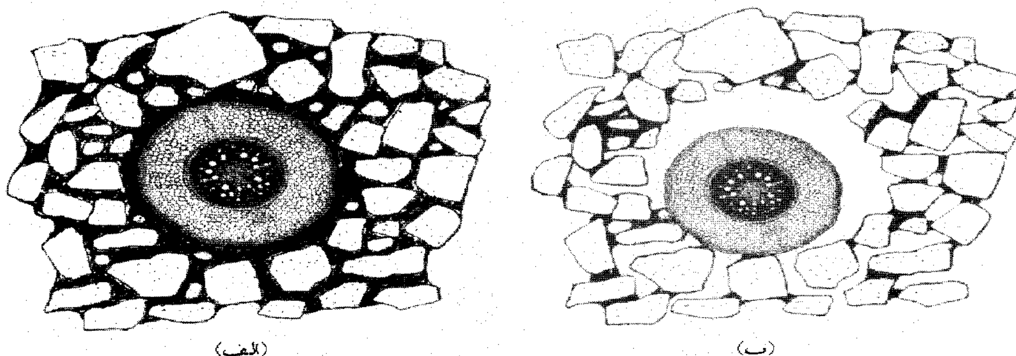
عمق خاک، سانتی‌متر	طول ریشه، کیلومتر در مترمکعب	
	آبیاری نشده	آبیاری شده
۰-۱٦	۷٦	۸۹
۱٦-۳۲	۳۰	۳۷
۳۲-٤۸	۲۱	۲۷
٤۸-٦٤	۱٤	۱٦

جدول ۷-۵ درصد حجم ریشه‌ی سه گیاه زراعی و دو درخت در ۳۰ سانتی‌متری فوقانی که درمقایسه با عمق‌های پایین (۱۸۰-۳۰ سانتی‌متر) وجود دارد.

گونه نباتی	درصد ریشه‌ها	
	۳۰ سانتی‌متر فوقانی	۱۸۰-۳۰ سانتی‌متر
سویا	۷۱	۲۹
ذرت	٦٤	۳٦
ذرت خوشه ای	۸٦	۱٤
کاج رادیاتا	۸۲	۱۸
اکالیپتوس مارجیناتا	۸٦	۱٤

تماس ریشه - خاک

ریشه‌ها با رشد و توسعه درخاک به‌داخل منافذی که دارای اندازه‌ی کافی است حرکت کرده و خود را تطابق خواهند داد. تماس یاخته‌های خارجی ریشه و خاک اجازه‌ی حرکت آسان آب را از خاک به‌داخل گیاه به‌دلیل اختلاف در سطح انرژی خواهد داد(شکل ۳۸-۵). وقتی نبات تحت تنش رطوبت قرار دارد، ریشه‌ها در رابطه با این تنش تمایل دارند از نظر اندازه منقبض و کوچک‌کردند، این شرایط دریک دوره گرم خشک طولانی وجود داشته ودر طول روز که تعرق در سطح برگ در بیشینه مقدار می‌باشد بسیار حاد است. قطر ریشه‌ها در این شرایط ممکن‌است تا ۳۰٪ انقباض یابد. انقباض تماس مستقیم ریشه را در خاک و همین‌طور حرکت آب مایع و مواد غذایی را به‌داخل گیاه به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد. گرچه بخار آب در این حالت هنوز می‌تواند جذب گردد اما میزان آن پایین بوده و فقط گیاهان بسیار مقاوم به خشکی می‌توانند زنده بمانند.



شکل ۳۸-۵ مقطع عرضی ریشه نبات با خاک اطراف آن. (الف) در دوره‌هایی با رطوبت کافی و با تنش رطوبتی اندک. ریشه به‌طور کامل منافذ خاک را پر کرده و در تماس نزدیک با لایه‌های آب خاک است. (ب) وقتی گیاه درتحت تنش رطوبتی مانند یک دوره‌ی گرم و خشک است، ریشه منقبض شده (به‌خصوص در یاخته‌های پوستی) و تماس ریشه و خاک به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. چنین انقباض ریشه‌ها می‌تواند حتی دریک روز تابستان که میزان رطوبت خاک بالاست صورت گیرد.

1- Captina Silt laom (typic Fragiudults), Arkansas

۱۱-۵ نتیجه‌گیری

آب در کل حیات تاثیرگذار است. تعامل وحرکت این ترکیب ساده درخاک مشخص می‌کند که ایا این تـأثیرات مثبـت بـوده یـا منفـی می‌باشد. فهم اصول حاکم بر جذب آب به‌وسیله‌ی مواد جامد خاک و ین‌های محلول می‌تواند اثرات مثبت را به بیشینه مقدار و اثرات منفی را به کمترین مقدار برساند.

مولکول آب دارای ساختمان قطبی بوده که سبب جذب بارهای الکتریکی مولکول‌های آب به‌وسیله‌ی کاتیون‌های محلول و مـواد جامـد خاک می‌شود. این نیروهای جذبی تمایل دارند سطح انرژی پتانسیل را به پایین‌تر از آب خالص برسانند. میزان این کاهش کـه پتانسـیل آب خاک نامیده می‌شود(ψ). تاثیر بسیار بارزی بر پاره‌ای از خصوصیات خاک به‌خصوص بر حرکـت آب در خـاک و جـذب آن بـه‌وسـیله‌ی گیاهان دارد.

پتانسیل آب به خاطر کشش بین ذرات جامد خاک و آب (پتانسیل ماتریک ψ_M) به‌انضمام نیروی ثقل ψg به‌مقدار زیادی حرکـت آب را تنظیم می‌کند. این حرکت درخاک‌های دارای رطوبت کافی و منافذ درشت فراوان نسبتا سریع است. در خاک‌هـای خشـک‌تـر، جـذب آب به‌وسیله‌ی ذرات جامد چنان شدید است که حرکت آب در داخل خاک و جذب آن به‌وسیله‌ی گیاهان به‌مقـدار زیـادی کـاهش مـی‌یابنـد. درنتیجه گیاهان به‌رغم وجود مقادیر قابل‌توجهی از آب که برای آن‌ها قابل‌استفاده نیست، از کمبود آب ازبین می‌روند.

با حرکت مویینه به‌سوی سطح ریشه‌ها و توسعه ریشه‌ها در داخل مناطق مرطوب خاک آب برای نبات فراهم می‌شود به‌علاوه ممکن‌است حرکت بخار در فراهم‌کردن آب برای گونه‌های بیابانی مقاوم به خشکی (خشکی‌پسندها) دارای اهمیت باشد. پتانسیل اسمزی در خاک‌هایی که دارای مقادیر زیادی نمک‌های محلول هستند مهم بوده و می‌تواند در جذب آب از خاک به‌وسیله‌ی گیاهان ممانعت ایجـاد کنـد. چنـین شرایط اغلب درخاک‌های دارای زه‌کشی محدود در مناطق با بارندگی اندک و در گیاهان گلدانی گلخانه‌ای صورت می‌گیرد. خصوصیات و رفتار آب بسیار پیچیده است. با به‌دست‌آمدن دانش بیشتر، برای ما آشکار شده است که آب خاک تحـت سـیطره اصـول سـاده و اساسـی فیزیکی می‌باشد. به‌علاوه پژوهش‌گران به مشابهت‌هایی بین این اصول، و اصولی که در حرکت آب زیرزمینی و جـذب واسـتفاده رطوبـت خاک به‌وسیله‌ی گیاه حاکم است دست یافته‌اند که موضوع فصل بعدی می‌باشد.

سووالات برای مطالعه

۱- نقش حالت مرجع آب در تعریف پتانسیل آب چیست ؟خصوصیات این حالت مرجع آب را تشریح کنید.

۲- ریشه نبات پنبه را که درافق‌های فوقانی خاک تحت آبیاری در امپریال ولی کالیفرنیا رشد می‌کند تصور کنید. در تلاش ریشه برای جذب مولکول‌های آب از این خاک باید بر کدام نیروها (پتانسیل‌ها) فائق آید؟ اگر این خاک به‌وسیله‌ی یک اتومبیل سنگین متراکم می‌شـد کـدام یک از این نیروها بیشتر تحت تأثیر قرار خواهدگرفت؟ توضیح دهید.

۳- بااستفاده از واژه‌های دگرچسبی، هم‌چسبی، هلال، کشش سطحی، فشار اسمز و سطح آب‌دوست مقاله‌ی مختصری بـرای تشـریح علـت بالاآمدن آب از سطح آب زیرزمینی در خاک معدنی بنویسید.

۴- فرض کنید که شما استخدام شده اید که یک شبکه آبیاری خودکار را برای باغ یک شخص ثروتمند طراحی کنید. شما تعیین می‌کنید که رطوبت بستر گل‌ها باید در پتانسیل بالاتر از ٦٠- کیلوپاسکال بوده اما مرطوب‌تر از ۱۰- کیلوپاسکال نباشد زیرا گل‌های یک‌سـاله هـم بـه خشکی و هم به نبود تهویه مناسب حساس می‌باشند. مناطق ناهموار چمن اگر خاک تا ۳۰۰- کیلوپاسکال خشک شود می‌تواننـد بـه‌خـوبی باقی بمانند. اعتبار مالی شما فقط امکان وصل مکش‌سنج و یا قطعات مقاومت الکتریکی را با کلیـدهای الکترونـی فـراهم مـی‌سـازد، چـه وسیله‌ای را به‌کار می‌گیرید و کجا آن‌ها نصب می‌کنید توضیح دهید.

۵- فرض کنید مالک در مسأله ٤ اعتبار مالی شما را افزایش داده و از شما می‌خواهد که از روش TDR برای اندازه‌گیـری رطوبـت خـاک استفاده کنید چه اطلاعات بیشتری در باره خاک که برای استفاده از مکش‌سنج لازم نیست باید به‌دست آورید تا از قطعـات مقاومـت و یـا TDR استفاده کنید؟ توضیح دهید.

۶- یک متصدی گلخانه‌ای به تولید گیاهان زینتی چند ساله در ظروف پلاستیکی با ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر که با شن لومی پر شده است مبادرت دارد. او ظروف را هر روز با آبیاری بارانی آب می‌داد. اولین دسته هزارتایی گیاهان در اثر وجود آب خیلی زیاد و نبـود هـوای کـافی زرد

شده و مردند. به‌عنوان یک کارمند گلخانه پیشنهاد می‌کنید که ایشان از گلدان‌هایی با ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر برای دسته گیاهان بعدی استفاده کنند. دلایل خود را توضیح دهید.

۷- فرض کنید که شما اطلاعات زیر را برای یک خاک اندازه گرفته اید.افق A از صفر تا ۳۰ سانتی‌متر با وزن مخصوص ظاهری ۱/۲ مگاگرم در متر مکعب و درصد رطوبت وزنی در ۱۰- کیلوپاسکال ۲۸ درصد و در ۱۰۰ کیلوپاسکال ۲۰ درصد و در ۱۵۰۰ کیلوپاسکال.۸ درصد. افق B از ۳۰ تا ۷۰ سانتی‌متر با وزن مخصوص ظاهری ۱/٤ مگاگرم در متر مکعب و درصد رطوبت وزنی θm در ۱۰-کیلوپاسکال،۱۰۰- کیلوپاسکال و ۱۵۰۰- کیلوپاسکال به ترتیب ۳۰٪،۲۵٪، ۱۵٪ می‌باشد. افق Bχ از ۷۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متر با وزن مخصوص ظاهری ۱/۵ مگاگرم درمتر مکعب و میزان رطوبت وزنی θm در ۱۰-،۱۰۰-،۱۵۰۰- کیلوپاسکال به ترتیب ۲۰٪، ۱۵٪، ۵٪ می‌باشد کل ظرفیت نگهداری آب قابل‌استفاده (AWC) خاک مورد سوال را برآورده کنند

۸- یک جنگل‌بان یک مغزه‌ی استوانه‌ای (طول ۱۵ سانتی‌متر و شعاع ۳/۲۵ سانتی‌متر) از یک خاک در مزرعه نمونه گرفت. او کل خاک را در یک قوطی فلزی با درپوش محکم قرار داد. قوطی فلزی خالی ۳۰۰ گرم و هنگام پرشدن از خاک مرطوب ۹۷۲ وزن داشت. در آزمایشگاه قوطی بدون درپوش را در یک کوره برای چند روز قرار داد تا کاهش وزن آن متوقف شد، وزن قوطی با خاک خشک شده (به‌انضمام درپوش) ۸۷۰ گرم بود θm وθ را محاسبه کنید.

۹- چهار دلیل ارائه دهید که چرا تراکم خاک احتمالاً سبب کاهش مقدارآب قابل‌استفاده برای گیاهان در حال رشد می‌شود.

۱۰- نظام ریشه‌هایی به‌خوبی منشعب شده حتی در صورت رشد سریع به‌ندرت بیش از ۱ تا ۲ درصد با سطح ذرات خاک تماس دارند، چرا ریشه‌ها می‌توانند بسیار بیشتر از ۱ تا ۲ درصد از آب نگهداری شده در این سطوح استفاده کنند.

هم خاک وهم آب متعلق به کره‌ی زیستی بوده و بر اساس نظم طبیعی، به‌عنوان گونه‌ای از تمام گونه‌ها و نسلی در بین تمام نسل‌های آینده حق نداریم آن‌ها را نابود سازیم دانیل - هیلل

فصل ٦

خاک و چرخه آب در طبیعت

یکی از زننده‌ترین و رنج‌آورترین چهره‌های جوامع انسانی افزایش فاصله درثروت بین اغنیا و فقرای جهان است. تجارب زندگی هر گروه برای دیگری غیرقابل‌درک است. در توزیع منابع آب جهان نیز این تفاوت صادق است. جنگل‌های بارانی حوزه‌های آمازون و کنگو هر سال با بیش از ۲۰۰۰ میلیمتر بارندگی سیراب می‌شوند و درحالی‌که بیابان‌های شمال آفریقا و آسیای مرکزی کمتر از۲۰۰ میلی‌متر بارندگی دریافت می‌دارند. توزیع باران نیز درطول سال یکنواخت نیست دوره‌های نسبتاً پرباران و طغیانی با دوره‌های خشک و خشکسالی به‌دنبال هم حادث می‌شوند.

با این حال می‌توان گفت که میزان تأمین آب برای رفع نیازهای گیاهان و حیوانات بومی در جوامع طبیعی منطقه کافی است. البته این مطلب از این نظر درست است که گیاهان و حیوانات خود را با وضع موجود آب محلی تطابق داده‌اند. جوامع اولیه انسانی با سکونت در جاهایی‌که آب حاصل از باران و رودخانه فراوان بوده، و با یادگرفتن این مطلب که کدام ریشه کدو شکل و ساقه نباتات می‌توانند تشنگی او را برطرف کنند، با ابداع فناوری‌هایی در جمع‌آوری آب برای کشاورزی و نگهداری آن در آب‌انبارهای زیرزمینی، با ابداع شیوه زندگی عشایری که به آن‌ها و گله‌ها آن‌ها امکان می‌داد که به‌دنبال آب و علف بوده و بعضی مواقع در نبود آب زندگی خود را جمع کرده و به‌جای دیگر حرکت کنند، خود را با منابع آب محلی تطابق دهند.

اما به‌نظر می‌رسد انسان‌های متمدن توانایی و اشتیاق خود را برای تطابق نیازمندی‌ها و فرهنگ با محیط خود از دست داده‌اند گرچه این نشانه مدنیت است که انسان‌ها در تلاش‌های سازمان‌یافته برای تطابق محیط با نیازمندی‌های خود به همدیگر بپیوندند. چنین شد که جریان دجله و فرات به‌وسیله‌ی گذشته‌گان رام شد. ما انسان‌های جدید چاه‌هایی در ساحل می‌زنیم. بر نیل افسانه‌ای در اسوان سد می‌بندیم آب‌های کلرادو را به منطقه چاپارل درکالیفرنیای جنوبی نهرکشی می‌کنیم. از آب‌خوان‌ها در زیر مزارع و حومه شهرها آب می‌کشیم و شهرهای در حال توسعه (با استخرهای شنا و چمن بلوگراس) در بیابان‌های جنوب غرب آمریکا و یا در شن‌زارهای عربستان ایجاد می‌کنیم. در واقع شهرهایی مانند لاس‌وگاس از چند طریق، و نه فقط یک طریق دست به قمار زده‌اند.

اگر ۷۵۰ میلی‌متر میزان بارندگی سالانه‌ی جهان به‌طور یکنواخت در کره زمین نازل و به‌طور درستی هدایت می‌شد، آب کافی برای حمایت جامعه بشری به‌مراتب بیش از ٦ میلیون نفر جمعیت امروزی وجود داشت. هرچند همان‌طورکه هم اکنون دیدیم، منابع آب به‌طور یکنواخت در زمان و مکان توزیع نیافته‌اند و ما انسان‌ها به‌ندرت آن‌ها را به‌طور مؤثر و عاقلانه مورد استفاده قرار می‌دهیم. آمریکای جنوبی و منطقه کارائیب حدود نزدیک ۳/۱ بارندگی سالانه کره زمین را دریافت می‌دارند، استرالیا فقط یک درصد را دریافت می‌دارد. جمع کل بارندگی آفریقا از اروپا بیشتر است، اما اکثر آن در حوزه‌ی آب‌خیز کنگو در غرب مرکز آفریقا نازل می‌شود و در کشورهای آفریقایی در شمال، شرق و جنوب تأمین آب برای جمعیت درحال رشد آن‌ها خود، ناکافی باقی می‌ماند. در خاورمیانه آب همانند مذهب، ریشه در اکثر کشمکش‌های سیاسی دارد.

با این وصف، اکثر کشاورزان مناطق خشک از ۱۰ لیتر آب ۷ لیتر آن‌را در آبیاری از دست می‌دهند، زارعین در مناطق نیمه‌خشک اجازه می‌دهند حدود نصف باران گران‌بهای آن‌ها به‌صورت رواناب از دامنه‌های پرشیب خارج شود و اعظم ساکنین شهرها ۲۰ لیتر آب را هر بار برای دفع چند گرم فضولات انسانی به فاضلاب مصرف کنند.

جای زیادی برای بهبود مدیریت منابع آب وجود دارد، به‌نظر می‌رسد بسیاری از بهبودها درنتیجه‌ی مدیریت بهتر خاک‌ها باشد. خاک‌ها درچرخه و استفاده از آب نقش محوری دارند. برای مثال به‌عنوان یک مخزن ذخیره عظیم، خاک‌ها می‌تواند اثرات منفی زیاد بود و کمبود آب را متعادل کنند. خاک در مواقع زیاد بود، آب را در خود ذخیره و در زمان مناسب آن‌را برای تأمین نیازهای تبخیروتعرق نباتات و یا تغذیه آب زیرزمینی آزاد می‌کند. ثبات ساختمانی در سطح خاک تضمین می‌کند که بخش بزرگی از باران دریافت شده با آرامی به‌داخل آب زیرزمینی و از آن‌جا به رودخانه‌های مجاور و مخازن عمیق‌تر در کره زمین حرکت کند. خاک‌ها به‌ما کمک می‌کنند که پساب‌های حاصل از

دامپروری، مصارف خانگی و منابع صنعتی راه اصلاح کرده و مجدداً مورد استفاده قرار دهیم. جریان آب از داخل خاک در این شرایط آلودگی شیمیایی خاک را به آلودگی محتمل آب زیرزمینی ارتباط می‌دهد.

در فصل ۵ اصول حاکم برسرشت و حرکت آب‌ها را درخاک مطالعه کردیم. در این فصل خواهیم دید که چگونه این اصول در چرخه‌ی آب بین خاک، نیوار و پوشش گیاهی کاربرد دارند. سپس نقش منحصربه‌فرد خاک را در مدیریت منابع آب مورد آزمون قرار داده و مشخص خواهیم کرد که چگونه خاک‌ها با مدیریت خوب می‌توانند کمک کنند تا این چرخه برای هر موجود زنده بیشترین استفاده را داشته باشد.

۶-۱ چرخه‌ی جهانی آب

منابع جهانی آب

حدود ۱۴۰۰ میلیون کیلومترمکعب آب در کره زمین وجود دارد که می‌تواند سطح زمین را تا عمق ۳ کیلومتر (اگر همگی به‌طور یکنواخت در سطح زمین توزیع شده باشند) بپوشاند. اکثر این آب نسبتا غیرقابل‌دسترس بوده و در چرخه سالانه که سبب تامین آب رودخانه‌ها، دیارچه‌ها، و موجودات زنده می‌شود غیرفعال می‌باشد. بیشتر از ۹۷ درصد آب در اقیانوس‌ها یافت می‌شود (شکل ۱-۶). که در آن‌ها نه‌تنها آب شور می‌باشد بلکه دارای مدت اقامت چند هزار ساله می‌باشد، قطعاً لایه‌های نزدیک سطح آن‌ها در چرخه سالانه آب قرار می‌گیرند. دو درصد دیگر آب کره زمین در یخچال‌ها و کلاهک‌های کوهستان‌ها با زمان اقامت مشابه (۱۰۰۰۰ سال) قرار دارند. حدود ۰/۷ درصد آب در آب‌های زیرزمینی قرار گرفته که اکثر آن‌ها دارای عمق بیشتر از ۷۵۰ متر می‌باشند این آب هم دارای متوسط زمان اقامت چند صد سال و بیشتر می‌باشد مگر این‌که براثر آب‌کشی مورد استفاده قرار گرفته باشد.

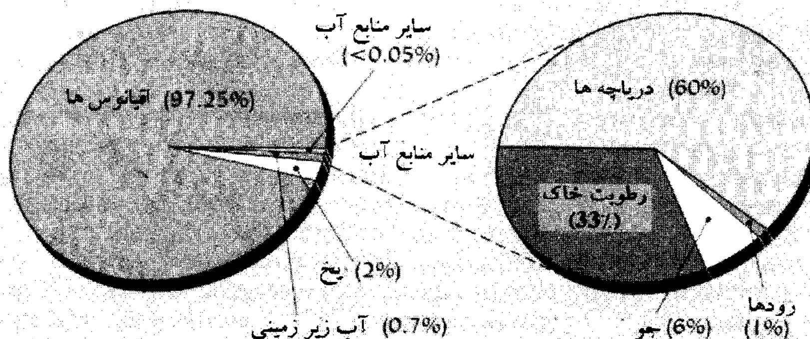
بخش فعال‌تر آب در چرخه‌ی هیدرولوژیک در سطح فوقانی اقیانوس‌ها، آب‌های زیرزمینی کم‌عمق، رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، نیوار ودر داخل خاک (شکل ۱-۶ را مشاهده کنید) قرار دارد. گرچه حجم مجموع آن‌ها درمقایسه با منابع غیرفعال قابل توجه نیست، این منابع قادر به حرکت در داخل نیوار به خارج از آن و همچنین از یک منطقه در سطح زمین به منطقه دیگر می‌باشند. زمان متوسط اقامت آب در نیوار ۱۰ روز، برای بزرگ‌ترین رودخانه‌ها ۲۰ روز و برای رطوبت خاک حدود ۳۰ روز است درحالی‌که آب در دریاچه‌های بزرگ (مانند دریاچه‌ی بایکال در سیبری دریاچه‌ی تانگانیکا در آفریقا و ۵ دریاچه‌ی بزرگ در شمال آمریکا) که حدوداً نصف آب تمام دریاچه‌ها را دارا می‌باشند، دارای زمان اقامت بیشتری (۹۰ تا ۲۰۰ سال) می‌باشند. دریاچه‌های کوچک‌تر و مخازن آب دارای مدت اقامت بسیار کمتری می‌باشند. قابلیت دسترسی آب در این منابع آخری سبب می‌شود. که شرکت‌کنندگان اصلی در چرخه‌ی جهانی باشند که هم اکنون مورد توجه قرار خواهند گرفت.

چرخه‌ی آب

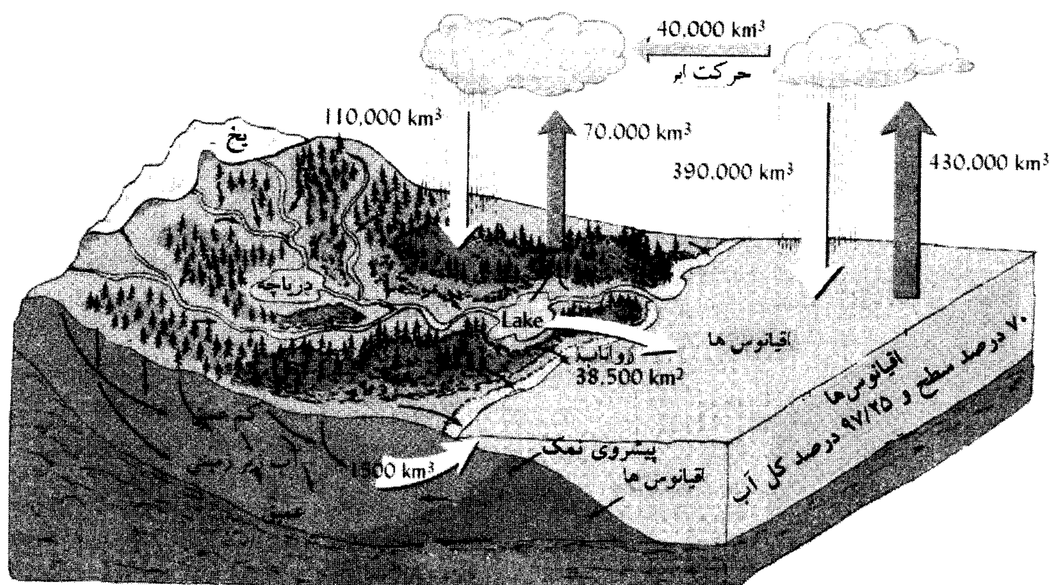
انرژی خورشیدی سبب انجام چرخش آب از سطح زمین به نیوار و سپس برگشت مجدد آن به زمین تحت عنوان چرخه آب (شکل ۲-۶) می‌باشد. حدود ۱/۳ انرژی خورشیدی که به‌زمین می‌رسد به‌وسیله‌ی آب در سطح زمین و یا نزدیکی سطح زمین جذب می‌شود. انرژی جذب شده سبب انجام تبخیر می‌شود که همان تبدیل آب مایع به بخار آب است. بخار آب در نیوار بالا رفته و نهایتاً ابرها را تشکیل می‌دهد که می‌تواند از یک منطقه کره‌ی زمین به منطقه‌ی دیگر حرکت کند. به‌طور متوسط، در طول ۱۰ روز اختلافات دما و فشار نیوار سبب تراکم بخار آب به قطرات مایع و یا ذرات جامد می‌شود که به‌صورت باران و یا برف به‌زمین باز می‌گردد.

همان‌طورکه شکل ۲-۶ تشریح می‌کند، حدود ۵۰۰/۰۰۰ کیلومترمکعب آب از سطح زمین و پوشش گیاهی هر سال تبخیر می‌شود بیشتر از ۸۵ درصد (۴۳۰۰۰۰ کیلومترمکعب) این آب از اقیانوس‌ها ناشی شده و بقیه از دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، سطح اراضی و پوشش گیاهی قاره‌ها حاصل می‌گردد. حدود ۴۰۰۰۰ کیلومترمکعب از آب موجود در ابرها از روی اقیانوس‌ها به خشکی‌ها مهاجرت می‌کنند.

بیشتر حجم بارندگی‌ها همچنین درمناطق اقیانوسی صورت گرفته و در حدود ۳۹۰۰۰۰ کیلومترمکعب و یا ۷۸٪ کل بارندگی، هر سال در آنجا نازل می‌شود. حدود ۱۱۰۰۰۰ کیلومترمکعب آب به‌صورت باران و یا برف بر روی قاره‌ها می‌بارد. بعضی از آب‌های نازل شده بر روی زمین در سطح خاک (رواناب سطحی) حرکت می‌کند و بعضی در داخل خاک نفوذ یافته و آنرا به آب‌های زیرزمینی زه‌کشی می‌کند. هم رواناب سطحی و هم نشت آب زیرزمینی به‌داخل رودها و رودخانه‌ها وارد می‌شوند، که از آن‌جا نیز به رودخانه‌های پایین‌دست و اقیانوس‌ها جریان می‌یابند. حجم آب برگشتی در این مسیر ۴۰۰۰۰ کیلومترمکعب می‌باشد که همان مقدار آب را که هر ساله به‌صورت ابرها از اقیانوس‌ها به‌طرف قاره‌ها جابه‌جا می‌شود متعادل می‌سازد.



شکل ۱-٦ منابع آب کره‌ی زمین. بخش بزرگی از آب دراقیانوس‌ها، یخچال‌ها و کلاهک‌های یخی و آب‌های زیرزمینی عمیق (سمت چپ) یافت می‌شود اما اکثر این آب‌ها برای تبادل با نیوار و اراضی غیرقابل‌دست‌یابی می‌باشد. منابع سمت راست گرچه از نظر مقدار بسیارکمترند در چرخه آب بسیارفعال هستند.



شکل۲-٦ چرخه آب که تمام حیات وابسته به آن است در اصل بسیار ساده می‌باشد. آب هم از سطح اقیانوس‌ها وهم از سطح قاره‌ها تبخیر یافته و به‌صورت باران و برف به کره زمین باز می‌گردد. حرکت خالص ابر ٤٠٠٠٠ کیلومترمکعب آب را از اقیانوس‌ها به قاره‌ها رسانده و معادل آن آب از طریق رواناب و نشت زیرزمینی از طریق رودخانه‌ها به اقیانوس‌ها باز می‌گردند. حدود ۸٦٪ تبخیر و ۷۸٪ بارندگی در سطوح اقیانوس روی می‌دهد. هرچند فرایندی که در سطح خشکی‌ها صورت می‌گیرد و خاک‌ها تأثیرگذارند دارای اثراتی نه‌تنها بر انسان‌ها، بلکه بر تمام اشکال دیگر حیات، ازجمله اشکالی نیز که در دریا سکونت دارند، می‌باشند.

معادله‌ی تراز آبی

بررسی اجزای چرخه آب در صورت کاربرد آن‌ها در یک حوزه‌ی آب‌خیز مفید می‌باشد. حوزه‌ی آب‌خیز محدوده‌ای از اراضی است که به‌وسیله‌ی یک سامانه از رودخانه‌ها زه‌کشی‌شده و به‌وسیله‌ی برجستگی‌هایی محصورمیشود که آنرا از حوزه‌های آب‌خیز مجاور جدا می‌کند. تمام بارندگی‌هایی که بر روی یک حوزه‌ی آب‌خیز می‌بارد، در خاک ذخیره شده، به نیوار باز گشته (بخش ۲-٦ را مشاهده کنید) و یا از حوزه‌ی آب‌خیز به‌صورت رواناب و یا جریان زیرزمینی تخلیه می‌شود. آب یا به‌صورت تبخیر از سطح خاک (بخارشدن آب خاک)، و یا بعد از جذب و مصرف به‌وسیله‌ی گیاه براثر بخارشدن از روزنه‌های سطح برگ (فرآیند تعرق) به نیوار باز می‌گردد. در مجموع، هردو مسیر هدررفت آب به‌صورت بخارِ آب به نیوار تبخیر- تعرق[1] نامیده می‌شود.

[1] - Evapotranspiration

وضعیت آب در یک حوزه‌ی آب‌خیز به‌وسیله‌ی معادله تراز آب بیان می‌شود، که در ساده‌ترین شکل خود به‌صورت: $P=ET+SS+D$ بیان می‌شود که در آن P بارندگی، ET تبخیر- تعرق، SS ذخیره خاک و D تخلیه آب است.

بعضی مواقع برای یک حوزه‌ی آب‌خیز جنگلی (بعضی مواقع سطح آب‌گیر نامیده می‌شود) ممکن است هدف مدیریت به‌حداکثررساندن D باشد تا آب بیشتری برای مصرف‌کنندگان در اراضی پایین دست فراهم شود. معادله مشخص می‌سازد که تخلیه فقط وقتی افزایش می‌یابد که ET و یا SS کاهش یابد، تغییراتی که ممکن است مطلوب بوده و یا نباشد. درمورد یک مزرعه تحت آبیاری، آب مصرف‌شده در سمت چپ معادله باید منظور گردد. مدیران آبیاری ممکن است بخواهند با به‌حداقل‌رساندن هدررفت‌های غیرضروری در D وارقام منفی برای ذخیره خاک در بعضی مواقع سال (با مصرف‌کردن آب خاک) درآب به‌کاررفته‌شده صرفه‌جویی کنند.

۶-۲ سرنوشت بارندگی و آب آبیاری

آب تأمین شده برای خاک به‌صورت باران وبرف و همینطور اب آبیاری در مسیرهای مختلفی حرکت کند. در اراضی دارای پوشش گیاهی بخشی از بارندگی به برگاب[1] تبدیل می‌شود (جدول ۱-۶) و بدون‌آن‌که به خاک برسد براثر تبخیر به نیوار باز می‌گردد. در بعضی از اراضی جنگلی ممکن‌است برگاب از رسیدن ۳۰ تا۵۰ درصد بارندگی به سطح خاک ممانعت کند. شما ممکن است ظرفیت برگاب پوشش درختی را با جستن پناه‌گاهی در یک باران سبک تجربه کرده باشید. برگاب و تصعید متعاقب آن (تبخیر مستقیم از حالت جامد) از برف به‌خصوص در جنگل‌های سوزنی برگ مهم است. حتی در اراضی زراعی مقدار برگاب پوشش گیاهی قابل توجه می‌باشد. اگرچه آب برگاب ممکن است تعرق را از سطح برگ‌ها موقتاً کاهش دهد لیکن سبب تأمین آب لازمه‌ی رشد نبات نمی‌گردد.

بیشتر آبی که به‌خاک می‌رسد براثر فرایند نفوذ[2]، به طبقات پایین فرو می‌رود، به‌ویژه اگر ساختمان سطح خاک سست و نفوذپذیر باشد. اگر میزان بارندگی و برف از ظرفیت نفوذ خاک پیشی گیرد، آب اضافی که قادر به نفوذ نباشد بر روی سطح خاک شروع به ماندابی‌شدن می‌کند. در مناطق نسبتاً مسطح مقادیر زیادی آب ممکن است در گودی‌ها باقی مانده وشرایط اراضی مرطوب موقتی را تشکیل دهد که بسته به شرایط موجود برای زیست‌گاه پرندگان مفید و یا برای کشاورزی زیان‌آور باشد (شکل ۳-۶).

در اراضی شیب‌دار، به‌خصوص اگر خاک‌ها متخلخل و نفوذپذیر نباشند، رواناب و فرسایش قابل‌ملاحظه‌ای صورت خواهد گرفت، بنابراین مقدار آب وارد شده به‌خاک را که در رشد نبات مؤثر است، کاهش خواهد داد. در موارد حاد ممکن‌است بیشتر از ۵۰ درصد نزولات بدین منوال از دست رود، درحالی‌که ممکن است بخشی از این هدررفت به علت ممانعت از اشباع زیاد خاک مطلوب باشد، اما عمدتاً نامطلوب بوده به‌خصوص اگر این رواناب سطحی[3] مقادیر قابل‌توجهی از مواد شیمیایی و ذرات جدا شده‌ی خاک (ته‌نشست[4] به فصل ۱۷ مراجعه کنند) را حمل کند.

جدول ۱-۶ درصد برگاب در چند گونه زراعی و درختی در مناطق مختلف آمریکا: به برگاب بالا در گونه‌های درختی و زراعت‌های متراکم مانند یونجه توجه کنید.

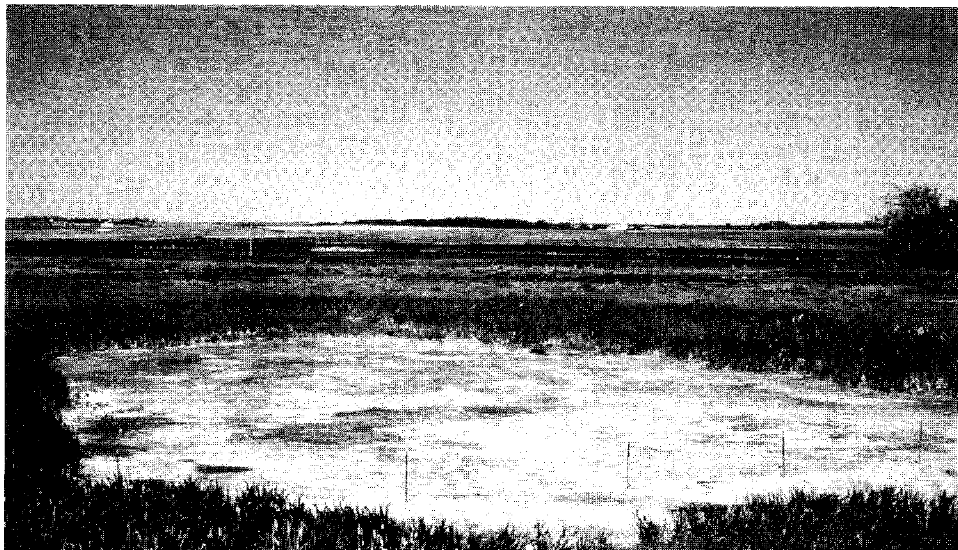
گونه‌ی نباتی	موقعیت	درصد بارندگی ذخیره‌شده به‌وسیله‌ی برگاب
یونجه	مونتانا	۲۲
ذرت	مونتانا	۷
سویا	نیوجرسی	۱۵
کاج پاندروزا	ایداهو	۲۲
سرو داگلاس	واشینگتن	۳٤
ممرز- افرا	نیویورک	٤۳

به‌محض دخول آب در خاک بخشی از آن براثر زه‌کشی در معرض فرونشست و هدررفت نهایی از منطقه‌ی ریشه قرار می‌گیرد. در مناطق مرطوب و در بعضی از اراضی آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک تا حدود ۵۰ درصد بارندگی ممکن است. به‌صورت زه‌کشی از

[1] - Interception
[2] - Infiltration
[3] - Surface runoff
[4] - Sediment

منطقه ریشه تلف گردد. هرچند در دوره‌های بعدی با بارندگی کم بخشی از آب ممکن است از طریق بالاآمدن موییته[1] به منطقه‌ی انتشار ریشه نبات باز گردد. این بازگشت برای نباتات در مناطق دارای خاک‌های عمیق، مخصوصاً در مناطق خشک مهم می‌باشند.

بخشی از آب نگهداری‌شده در خاک که به آن ذخیره آب خاک[2] اطلاق می‌شود نهایتاً به‌وسیله‌ی موییته به بالاحرکت کرده و براثر تبخیر از سطح خاک هدر می‌رود بخش اعظم باقی‌مانده به‌وسیله‌ی نباتات جذب شده و از طریق ریشه‌ها و ساقه‌ها به برگ‌ها حرکت نموده ودر آن‌جا براثر تعرق از دست می‌رود. آب ازدست‌رفته به نیوار به‌وسیله‌ی تبخیر و تعرق ممکن است بعدها به‌وسیله‌ی بارندگی و یا آب آبیاری به خاک باز گردد و چرخه‌ی آب دوباره آغاز شود.



شکل ۳-۶ اراضی ماندابی کوچک گود- در ایالت داکوتای شمالی که به آن چاله مرغزاری گفته می‌شود. وقتی بارندگی سریع‌تر از ظرفیت نفوذ خاک باشد آب شروع به ماندابی‌شدن در سطح خاک نموده، سپس به‌داخل فروافتادگی‌ها جاری می‌شود. در بعضی از اراضی با ظرفیت نفوذ اندک آب در چاله‌ها به‌مدت چندین ماه در طول سال باقی می‌ماند. زراعینی که در این اراضی با ماشین‌آلات بزرگ کشت‌وکار می‌کنند، ممکن است به این اراضی به‌عنوان مزاحمی که نیازمند زه‌کشی است، بنگرند. اراضی ماندابی در دشت‌های بزرگ شمالی کشور پراکنده بوده و مناطق آشیان‌سازی را برای حدود نصف مرغابی‌ها در شمال آمریکا فراهم می‌سازند.

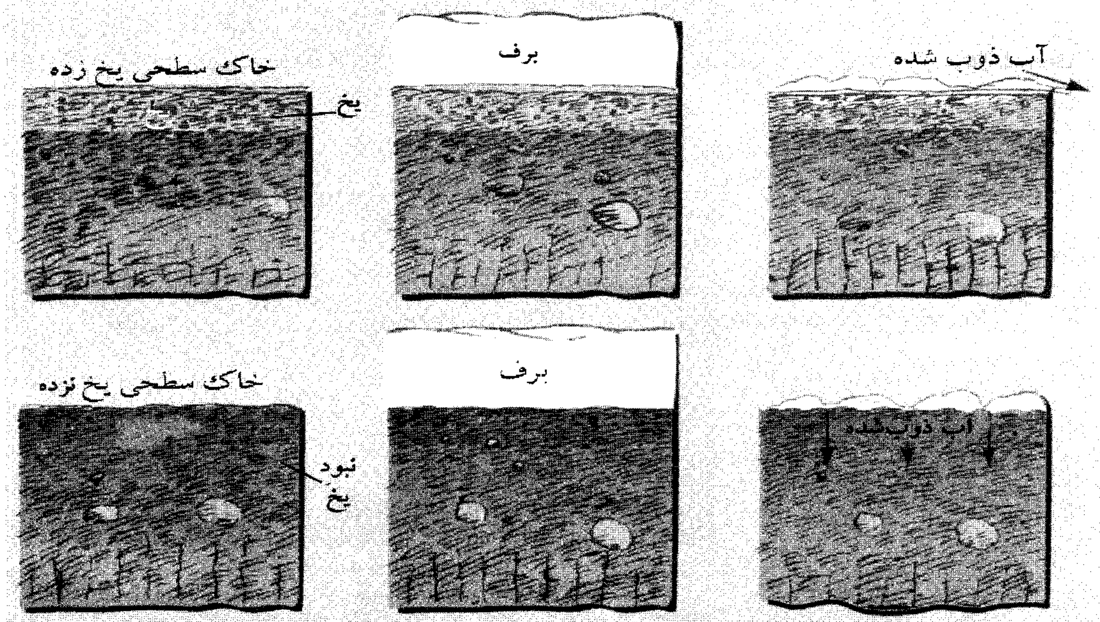
اثرات بارندگی

مقدار آبی که از مسیرهای مختلفی می‌گذرد همان‌طورکه بحث شد تا حد زیادی تحت تأثیر زمان، میزان ونوع بارندگی می‌باشد. بارندگی‌های سنگین حتی در زمان کوتاه می‌توانند آب را به‌مقدار بیشتری که خاک توان جذب آن را دارد، فراهم کنند و این در مناطق خشک حتی با بارندگی سالانه ۲۰۰ میلی‌متر نیز صادق می‌باشد. رگبارهای شدید[3] که ۲۰ تا ۵۰ میلی‌متر بارش رادر مدت چند دقیقه به‌دنبال دارد می‌تواند سبب طغیان سیل و ایجاد فرسایش خندقی گردد. بخش بزرگی از نزولات که در طول چندین روز متوالی باران‌های آرام توزیع یافته است، می‌توانند به آرامی وارد خاک شده و بنابراین سبب افزایش آب ذخیره شده قابل استفاده‌ی نبات و همین‌طور تغذیه‌ی آب زیرزمینی گردد.

همان‌طورکه در شکل ٤-٦ تشریح شده است، زمان بارش برف در اول زمستان می‌تواند در تفکیک آب برف ذوب شده در اول بهار به‌صورت رواناب سطحی یا نفوذ درخاک مؤثر باشد. یک پوشش برفی عایق خوبی بوده و بنابراین اگر خاک قبل‌از اولین بارش سنگین برف یخ بزند نزول برف‌های بعدی سبب یخ‌زده باقی‌ماندن آن می‌گردد، حتی وقتی دمای بالای بهاره سبب آغاز ذوب برف شود در این شرایط آب ناشی از ذوب برف قادر به نفوذ در لایه‌های یخ‌زده زیرین نبوده و به‌صورت رواناب ظاهر می‌شود. از طرف دیگر اگر خاک وقتی هنوز یخ‌زده نیست زیر پوشش برفی قرار گیرد. پوشش برفی عایق از یخ‌زدن خاک در طول زمستان ممانعت می‌کند. دراین مورد وقتی برف در بهار ذوب می‌شود آب حاصل از برف به آسانی در داخل خاک یخ زده داخل گشته و رواناب سطحی به مقدار اندکی صورت می‌گیرد.

---

[1] - Capillary rise
[2] - Soil storage water
[3] - Cloudbrust



شکل ٤-٦ زمان نسبی دمای یخ‌زدن و نزول برف در پاییز در بعضی مناطق در رواناب و نفوذ آب به‌داخل خاک در بهار به‌طور شدیدی مؤثر می‌باشد. سه شکل فوقانی تشریح می‌کند که وقتی سطح خاک قبل از اولین برف سنگین یخ می‌زند چه اتفاقی می‌افتد. پوشش برفی سبب عایق‌شدن خاک گردیده به‌طوری‌که وقتی برف در بهار شروع به ذوب‌شدن می‌کند خاک هنوز یخ‌زده و غیرقابل‌نفوذ می‌باشد. توالی عکس‌های زیرین موقعیتی را تشریح می‌کند که خاک در پاییز قبل از این‌که به‌وسیله‌ی اولین برف سنگین پوشش یابد یخ نزده است.

اثرات پوشش گیاهی و خصوصیات خاک در نفوذپذیری

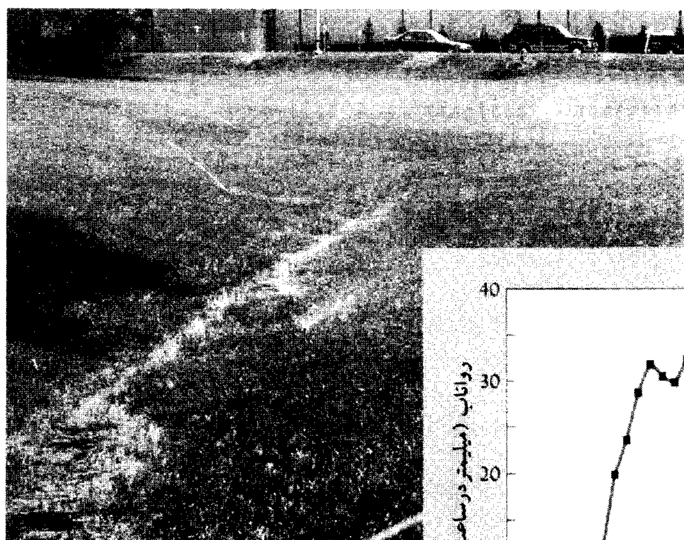
نوع پوشش گیاهی: علاوه بر نگهداری و ذخیره برگاب حاصل از برف و باران قبل از رسیدن آن به‌خاک، گیاهان در تعیین نسبت آبی که به‌صورت رواناب در می‌آید و یا در خاک نفوذ می‌یابد یاری می‌دهند. پوشش گیاهی و بقایای چمن‌زارهای چندساله و پوشش متراکم جنگلی،ساختمان متخلخل خاک را از ضربت قطرات باران محافظت می‌کنند. بنابراین سبب تسهیل نفوذ آب و درنتیجه کاهش حمل خاک به‌وسیله‌ی رواناب می‌گردد. به‌طور کلی، رواناب بسیار کمی از اراضی تحت پوشش جنگل دست نخورده و یا چمن‌زار تورف با مدیریت خوب صورت می‌گیرد. هرچند همان‌طورکه شکل ٥-٦ مشخص می‌سازد، تفاوت در بین گونه‌های گیاهی، حتی در بین گیاهان چمنی، می‌تواند در رواناب مؤثر باشد.

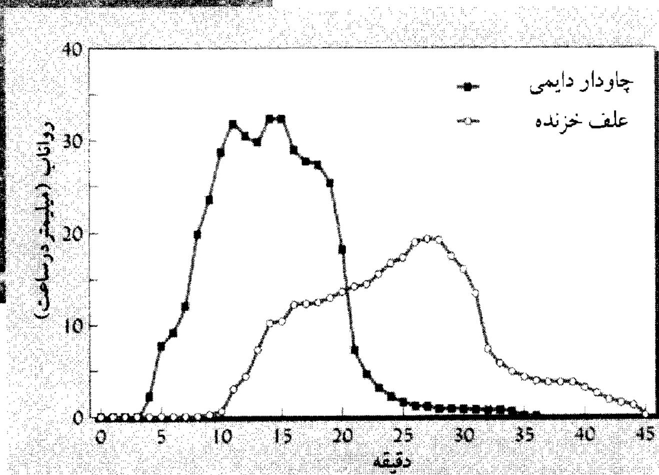
جریان ساقاب: تاج پوشش بسیاری از نباتات بارندگی را به‌طرف ساقه نبات هدایت می‌کنند، بنابراین توزیع مکانی بارانی را که به خاک می‌رسد تغییر می‌دهند. دریک تاج پوشش جنگلی ممکن است بیش از نصف بارندگی به‌صورت قطراتی از برگها، سرشاخه‌ها به تنه درخت رسیده و در آن‌جا به‌صورت جریان ساقاب به‌زمین وارد شود. به‌همین‌ترتیب تاج پوشش گیاهان زراعی خاصی مانند ذرت بخش بزرگی از بارندگی را به‌صورت قیفی به ردیف گیاهان درخاک می‌رساند (شکل ٦-٦). تراکم آب در محدوده کوچکی در اطراف ساقه نبات امکان جریان اشباع را افزایش می‌دهد. اگر کودهای شیمیایی در کنار ردیف گیاهان جای‌گذاری شود این نفوذپذیری غیریکنواخت ممکن است سبب آبشویی عناصر غذایی محلول به پایین‌تر از منطقه‌ی انتشار ریشه نبات گردد. جریان ساقاب در مطالعه آب‌شناسی و چرخه‌ی عناصر غذایی در بسیاری از بوم‌سامان‌های گیاهی بایستی موردملاحظه قرار گیرد.

مدیریت خاک: هدف عمده‌ی نظام‌های مدیریت خاک و آب، به‌خصوص در مناطق نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب تقویت نفوذ آب درمقایسه با رواناب می‌باشد. این هدف ممکن است با ارتقاء ذخیره‌ی سطحی خاک برای اختصاص زمان بیشتر برای انجام نفوذ آب در خاک تحقق یابد (شکل ٧-٦ الف). روش دیگر استقرار پوشش متراکم در ایامی که بارندگی زیاد است، می‌باشد. این امر ممکن است شامل استفاده از گیاهان پوششی باشد، نباتاتی که در فاصله بین فصول اصلی رشد نبات کاشته می‌شوند(شکل ٧-٦ ب) این گیاهان پوششی[1] سبب تقویت فعالیت

[1] - Cover Grops

کرم‌های خاکی و حفاظت ساختمان خاک شده، که منجر به ارتقاء شدید نفوذپذیری خاک می‌گردد. گرچه باید به‌خاطر آورد که گیاهان پوششی سبب تعرق می‌شوند. اگر گیاهان به‌دنبال آن‌ها وابسته به آب ذخیره شده درخاک باشند، احتیاط لازم را باید در ازبین‌بردن آن‌ها قبل از تخلیه‌ی رطوبت خاکرخ به‌عمل آورد. کاربرد بولدزر و دیگر ماشین‌آلات سنگین برای کف‌تراشی جنگل‌ها می‌تواند نفوذ آب را در خاک به‌شدت کاهش دهد. شکل ۸-۶ اثرات بولدوزر زدن را با روش سنتی برداشت دستی جنگل‌های گرمسیری مقایسه می‌کند. روش‌های سنتی کمترین به‌هم‌زدن را داشته و میزان نفوذپذیری همانند قبل از جنگل‌تراشی باقی می‌ماند، درحالی‌که بولدوزر زدن سبب ازبین‌رفتن کف جنگل و متراکم‌شدن خاک گردید، که به‌طور سرسام‌آوری کاهش نفوذ آب را در خاک به‌دنبال داشت. درحالی‌که مطالعات بیانگر این است که اثرات مخرب تراکم می‌تواند تا حدی به‌وسیله‌ی شخم عمیق برطرف گردد، این نتایج ما را از استفاده از ماشین‌آلات سنگین در کف‌تراشی جنگل به‌خصوص در مناطق مرطوب حاره‌ای برحذر می‌دارد.





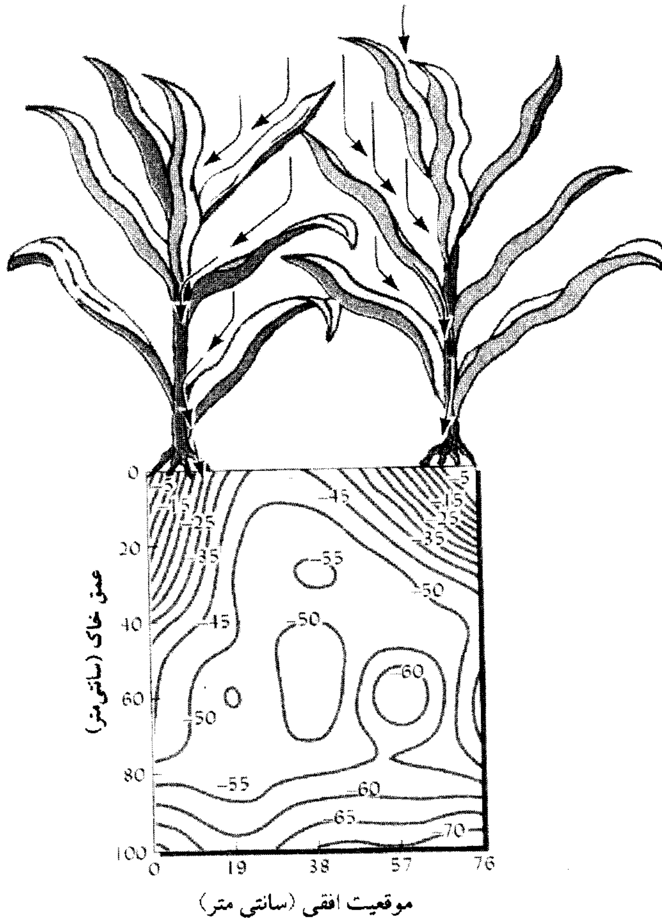
شکل ۵-۶ آب اندکی معمولاً از چمن جاری می‌شود، به‌استثنای بارندگی‌های خیلی شدید، جایی‌که خاک متراکم شده باشد، و یا آب آبیاری به‌طور یکنواخت و یا با میزان بالایی (همان‌طورکه در عکس دیده می‌شود) مصرف شود. نمودار بیانگر رواناب از اراضی زیر دونوع چمن گلف به‌دنبال آبیاری به‌میزان ۱۵۰ میلی‌متر در ساعت می‌باشد. توجه کنند که حداکثر رواناب در علف خزنده[1]، که مشخصه آن پوشش متراکم ساقه‌ی نبات و وجود بسیاری از منافذ زیستی[2] در نزدیکی سطح خاک است بسیار پایین می‌باشد. آبیاری سبک‌تر بر روی هر دو علف چمن سبب حذف رواناب گردید. رواناب بیانگر هدررفت آب و توان حمل مواد شیمیایی چمن‌زار به رودها و رودخانه‌ها خواهد شد.

تخلخل خاک: خصوصیات خاک نیز در سرنوشت بارندگی مؤثر است. اگر خاک سست و متخلخل باشد (برای مثال شن‌ها و خاک‌های خاکدانه‌ای) بخش بزرگی از آب به‌داخل خاک نفوذ کرده و بخش کوچکی از آن به رواناب تبدیل می‌گردد. برعکس، خاک‌های رسی سنگین با ساختمان ناپایدار در مقابل نفوذپذیری آب مقاومت کرده و سبب تقویت رواناب می‌شود. این اختلافات همان‌طورکه شکل ۹-۶ نشان می‌دهد مربوط به خصوصیت خاک و همچنین پوشش گیاهی می‌باشد.

با درنظرداشتن کل چرخه آب، توجه خود را به اجزای چرخه که گیاهان و خاک‌ها برجسته‌ترین نقش را در آن‌ها ایفا می‌کنند معطوف می‌داریم.

---

[1] - Creeping bent grass
[2] - Biopores



شکل ٦-٦ توزیع قایم و افقی آب خاک درنتیجه‌ی جریان ساقاب. خطوط میزان بیانگر توان آب برحسب کیلوپاسکال بین دو ردیف زراعت ذرت دریک خاک لوم شنی است. در طول ۲ روز گذشته، ۲٦ میلی‌متر بارندگی در مزرعه نازل شده است. تاج پوشش بسیاری از گیاهان، از جمله ذرت نشان داده در شکل، بخش بزرگی ازبارندگی را به‌طرف ساقه نبات هدایت می‌کند. جریان ساقاب سبب توزیع غیریکنواخت آب می‌گردد. در اراضی زراعی این امر سبب تفاوت در آبشویی مواد شیمیایی مانند کودهای شیمیایی، بسته به این‌که در منطقه بیشترین رطوبت در نزدیکی ساقه نبات مصرف شده و یا نشده باشد می‌گردد. تراکم آب به‌وسیله‌ی جریان ساقاب می‌تواند جریان آب را در منافذ درشت بعد از وقوع یک بارن سبک به‌دنبال داشته باشد.

٦-۳ زنجیره‌ی خاک–نبات- نیوار[1]

حرکت آب در زنجیره‌ی خاک- نبات- نیوار، جزء اصلی در کل چرخه آب است. شکل ۱۰-٦ بسیاری از فرایندهایی را که هم‌اکنون مورد بحث قرار دادیم مانند، برگاب، رواناب سطحی، فرونشست، زه‌کشی، تبخیر، جذب آب به‌وسیله‌ی نبات، حرکت آب به‌طرف برگ‌ها و تعرق آب از برگ‌ها به نیوار را یک‌جا آورده است. در مطالعه این زنجیره دانشمندان همان اصول اساسی را که در نگهداری و حرکت آب چه در خاک و چه در نبات و یا در نیوار موجود است کشف کرده‌اند. در فصل ۵ مشاهده کردیم که سطح انرژی آب عامل عمده تعیین‌کننده رفتار آب در خاک بود. همین اصل را می‌توان در حرکت آب در بین خاک، ریشه نبات و بین نبات و نیوار بیان داشت (شکل ۱۰-٦ را ببینید).

اگر نبات بخواهد ازخاک آب جذب کند، توان آب در ریشه نبات باید از توان آب در خاک مجاور ریشه کمتر باشد به‌همین منوال، حرکت روبه‌بالای آب از ساقه به‌طرف برگ‌ها عکس‌العمل به تفاوت‌های توان آب در بین این دو محل است. درحرکت آب از سطح برگ‌ها به نیوار نیز همین اصل صادق است. برای تشریح حرکت آب به نقاطی که دارای توان کمتری است شکل۱۰-٦ نشان می‌دهد که توان آب از ۵۰- کیلوپاسکال در خاک به۷۰- در ریشه، و۵۰۰- کیلوپاسکال درسطح برگ‌ها، و نهایتاً به۲۰۰۰۰- کیلوپاسکال در نیوار کاهش می‌یابد.

دو نقطه‌ی مقاومت

تغییرات در پتانسیل آب خاک که در شکل ۱۱-٦ تشریح شده است مشخص‌کننده‌ی مقاومت عمده در دو نقطه به‌محض حرکت آب از داخل زنجیره می‌باشد. فصل مشترک ریشه- آب خاک و فصل مشترک سلول‌های برگ - نیوار می‌باشد. این بدان معنی است که دو عامل اولیه تعیین‌کننده‌ی این امر است که آیا آب مورد نیاز گیاه به خوبی تأمین شده است: (۱) میزان آب تأمین‌شده خاک به ریشه‌های جذب‌کننده و (۲) میزانی که آب از برگ نباتات تبخیر می‌گردد. از آنجاکه عوامل مؤثر در توانایی خاک برای تأمین آب در بخش ۹-۵ مورد بحث قرار گرفت حال به هدررفت آب براثر تبخیر از سامانه‌ی خاک- نبات می‌پردازیم.

---
[1] Soil –plant –atmosphere continuum (spac)



(الف)



(ب)

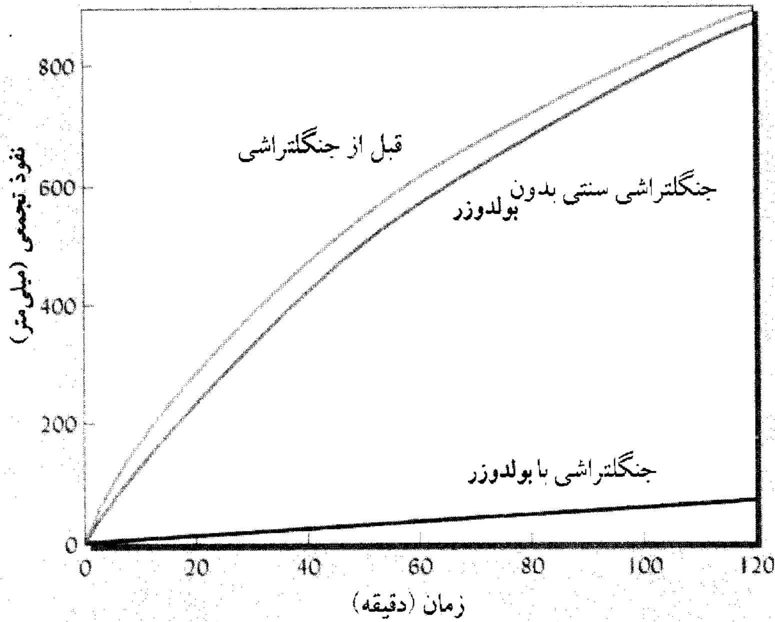
شکل ۷-۶ مدیریت خاک‌ها برای افزایش نفوذ آب باران.(الف) بندهای کوچک جویچه‌ای در سمت راست در این مزرعه در تگزاس سبب نگهداری آب باران به‌مدت کافی برای نفوذ آن در خاک به‌جای ایجاد رواناب می‌شود (ب) این خاک اشباع تحت گیاهان پوششی زمستانه خلر کرکدار به‌وسیله‌ی حفره‌های کرم خاکی شرحه‌شرحه‌شده و نفوذ آب را به‌داخل خاک در یک باران سنگین جدید به‌مراتب افزایش می‌دهد. مقیاس به سانتی‌متر می‌باشد.

تبخیر و تعرق

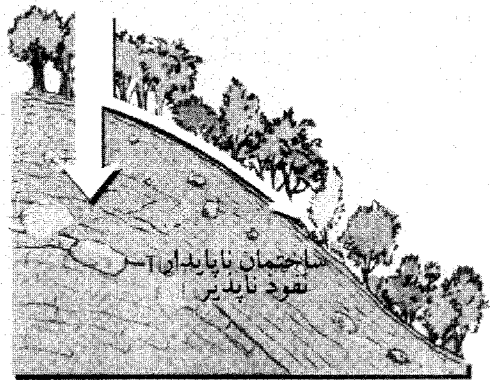
درحالی‌که اندازه‌گیری تغییرات کلی درمقدار آب خاک براثر هدررفت بخاری آسان است. تعیین این‌که درست چه مقدار از این هدررفت مستقیماً از خاک (براثر تبخیرE)[1] و چه مقدار از سطح برگ (براثر تعرق T)[2] انجام می‌گیرد کاملاً مشکل است. بنابراین اطلاعات عمدتاً مربوط به تبخیروتعرق(ET)[3] می‌باشد که هدررفت مشترک حاصل از این دو فرایند است. بخش تبخیر از ET ممکن‌است از نظر توان تولید زاید معرفی شود. هرچند حداقل بعضی از اجزاء تعرق برای رشد گیاه ضروری است، از جمله تهیه آب برای خنک‌کردن نبات، انتقال عناصر غذایی، فتوسنتز و نگهداری شادابی نبات.

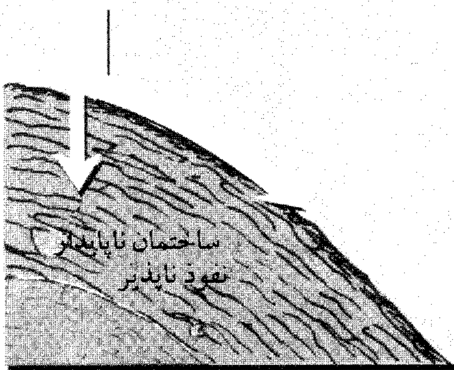
---

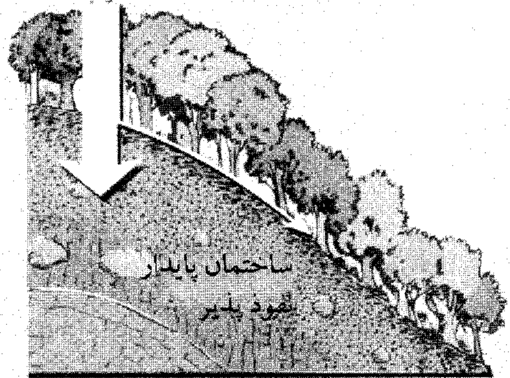
[1] - Evaporation
[2]- Transpiration
[3] - Evapotranpiration

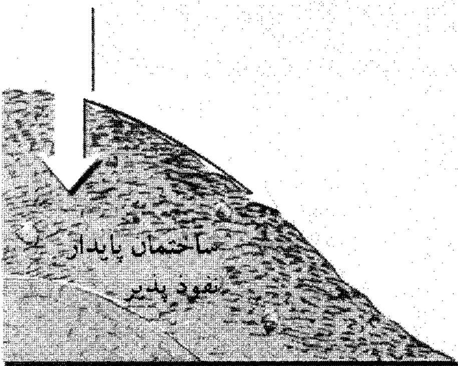


شکل ۸-۶ اثر وسایل سنتی و مکانیکی کف‌تراشی جنگل بر میزان نفوذپذیری تجمعی در یک خاک اولتی‌سول در منطقه‌ی آمازون کشور پرو. اندازه‌گیریها، ٤ هفته بعد از جنگل‌تراشی انجام گرفته است. ظاهراً به‌هم‌خوردن و تراکم خاک سطحی به‌وسیله‌ی بولدوزر مقدار و اندازه‌ی منافذ را کاهش داد، بنابراین سبب کاهش میزان نفوذپذیری به‌طور شدید گردید. کف‌تراشی سنتی به‌وسیله‌ی دست خاک را متراکم نکرد.

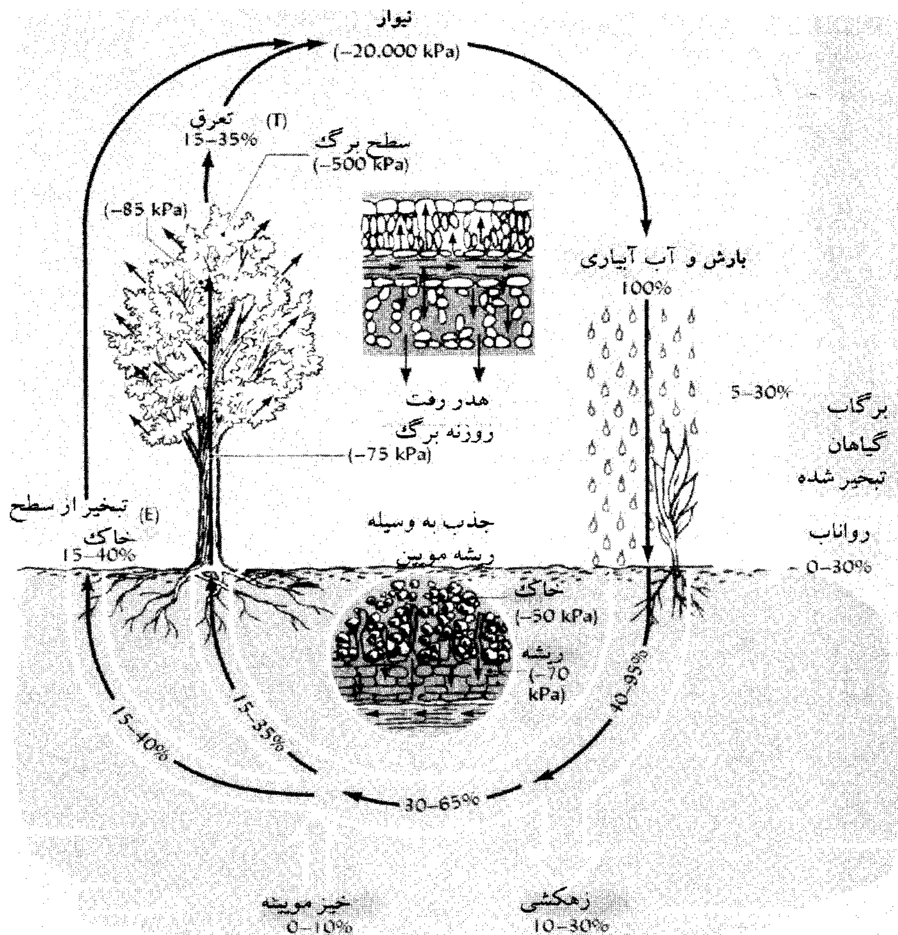




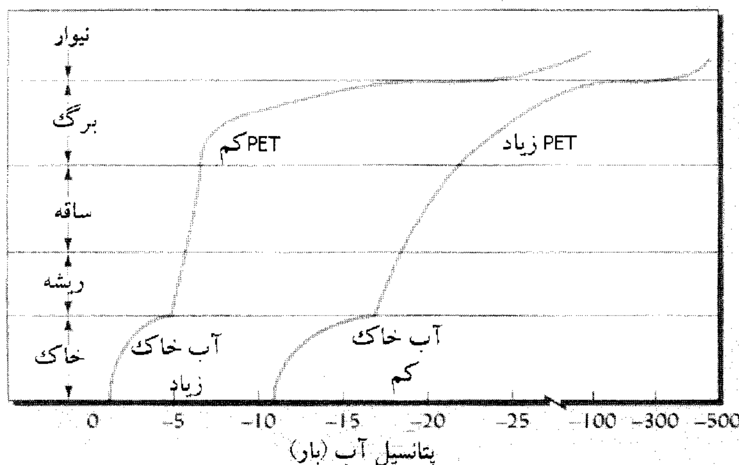




شکل ۹-۶ تأثیر ساختمان خاک و پوشش گیاهی بر تفکیک بارندگی به نفوذپذیری و رواناب. دو شکل فوقانی نشان‌دهنده‌ی خاک‌هایی با ساختمان سفت غیرپایدار بوده که درمقابل نفوذپذیری عمقی مقاومت می‌کند. خاک بدون پوشش مخصوصاً به سله‌ی سطحی حساس می‌باشد و سبب هدررفتن زیاد آب به‌وسیله‌ی رواناب می‌شود. حتی در پوشش جنگلی، نفوذپذیری پایین خاک‌ها نمی‌تواند تمام باران‌های یک رگبار شدید را قبول کند. دو شکل پایین نشان‌دهنده نفوذپذیری بسیار بیشتر در خاک‌های متخلخل با ساختمان پایدار و منافذ درشت فراوان می‌باشد. ساختمان متخلخل‌تر همراه با اثرات حفاظتی کف جنگل و تاج پوشش تقریباً سبب حذف رواناب سطحی می‌شود.



شکل ۱۰-۶ زنجیره‌ی خاک - نبات- نیوار نشان‌دهنده حرکت آب از خاک به گیاهان و از آنجا به نیوار و سپس برگشت به خاک درمناطق مرطوب و یا نیمه‌مرطوب می‌باشد. رفتار آب در داخل زنجیره در ارتباط با همان روابط انرژی است که آب خاک را شامل می‌باشد و در فصل ۵ مورد بحث قرار گرفت. توجه داشته باشید که پتانسیل رطوبت در خاک از ۵۰- پاسکال به ۷۰ - کیلوپاسکال در ریشه می‌رسد، با حرکت آب به داخل ساقه‌ها و برگ‌ها این پتانسیل کاهش می‌یابد. این پتانسیل در حد فاصل برگ‌ها و نیوار به ۵۰۰ - کیلوپاسکال می‌رسد، در این فاصله به بعد رطوبت به نیوار فرار می‌کند و پتانسیل رطوبت نیوار ۲۰۰۰۰ - کیلوپاسکال می‌باشد. رطوبت از محلی که دارای پتانسیل (توان) بالایی است به جایی که پتانسیل کمتری دارد حرکت می‌کند. به تقسیم‌بندی بارندگی و آب آبیاری در صورت حرکت آن به‌داخل زنجیره توجه کنند.



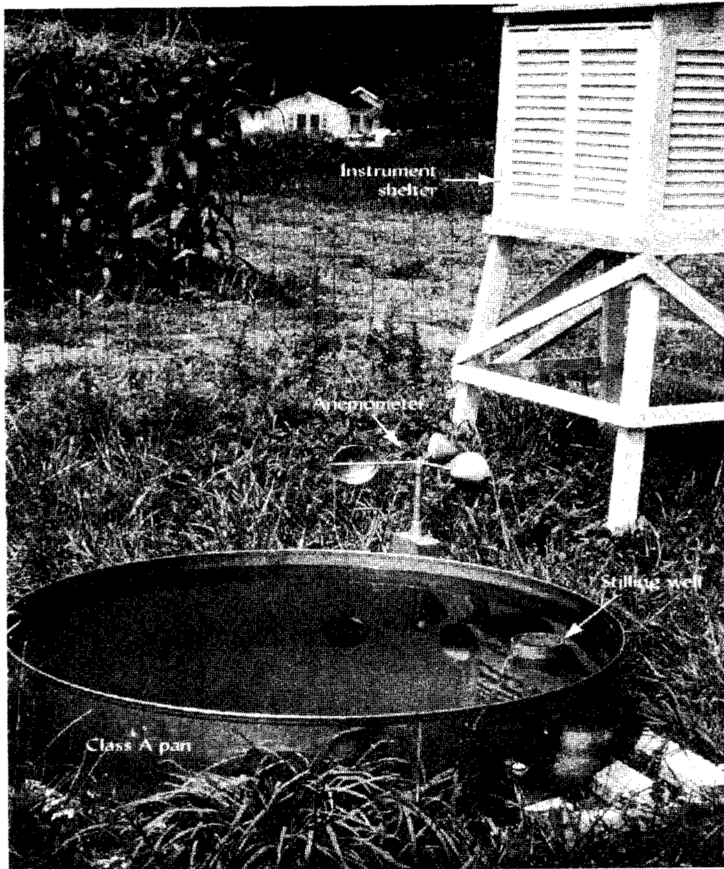
شکل ۱۱-۶ تغییر در پتانسیل آب با حرکت آب از خاک به‌داخل ریشه، ساقه و از برگ به نیوار، توجه کنید که پتانسیل آب با حرکت آب در سیتم کاهش می‌یابد.

تبخیر و تعرق پتانسیل (PET[1]) به‌ما می‌گوید که اگر میزان آب خاک به‌طور مداوم درحد بهینه باقی بماند، با چه سرعتی بخار آب از سامانه پرپوشش متراکم خاک-نبات از دست می‌رود. PET عمدتاً به وسیله متغیرهای اقلیمی مانند دما، رطوبت نسبی، پوشش ابری و سرعت باد، که در شیب بخار آب بین خاک مرطوب، برگ و بین سطح آب و نیوار مؤثر می‌باشد تعیین می‌شود.

تعدادی از مدل‌های ریاضی برای برآورد PET از اطلاعات هواشناسی ابداع شده است. PET در عمل می‌تواند بسیار آسان با به‌کارگیری ضریب اصلاح با مقدار آب تبخیر شده از یک طشت آب با طراحی استاندارد برآورد گردد (طشت تبخیر کلاس A در شکل ۱۲-۶ آمده است). پوشش گیاهی متراکم که خوب آب داده شده است معمولاً آب را با ۶۵٪ سرعت تبخیر از طشت تبخیر باز، مورد تعرق قرار می‌دهد. بنابراین فاکتور همبستگی برای پوشش متراکم مانند چمن معمولاً ۶۵٪ (برای پوشش کم تراکم این ضریب کمتر است) می‌باشد.

$$PET = 0.65 \times A \text{ طشت تبخیر}$$

دامنه PET از بیشتر از ۱۵۰۰ میلی‌متر در سال برای مناطق گرم خشک، تا کمتر از ۴۰ میلی‌متر برای مناطق خیلی سرد متغیر است. ممکن است در طول زمستان در مناطق معتدل PET کمتر از ۱ میلی‌متر در روز باشد. برعکس، بادهای گرم خشک به‌طور مداوم آب را از سطح مرطوب به‌مقدار ۱۰ تا ۱۲ میلی‌متر تبخیر می‌کنند. به این دلیل، زارعین چه در دشت‌های بزرگ شمال آمریکا و چه در منطقه ساحل در شمال آفریقا از بادهای گرم که خاصه این مناطق است وحشت دارند.



شکل ۱۲-۶ یک طشتک تبخیر کلاس A که برای کمک به تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) به‌کار می‌رود. سطح آب در چاهک مشاهده‌ای (استوانه‌ی کوچک) روزی یک بار تعیین می‌شود و میزان آب لازم برای بالاآوردن سطح آب به خط اصلی اندازه‌گیری می‌شود. تبخیر از طشتک بیانگر مجموع اثرات رطوبت نسبی، دما، سرعت باد و سایر متغیرهای اقلیمی مربوط به شیب فشار بخار آب است. درشکل بادنما برای اندازه‌گیری سرعت باد و پناه‌گاه که حاوی ادوات اندازه‌گیری دما و رطوبت نسبی است نشان داده شده است.

تأثیر میزان رطوبت خاک روی ET

تبخیر از سطح خاک(E) در دمای خاص تا حد زیادی به‌وسیله‌ی مرطوب‌بودن سطح خاک و توانایی خاک برای جبران این آب سطحی در فرایند تبخیر، مشخص می‌شود. در اکثر موارد خاک در ۱۵ تا ۲۵ سانتی‌متری فوقانی اکثر آب لازم برای تبخیر سطحی (E) را تأمین می‌کند، حرکت موبینه رو به بالای آب بسیار محدود است مگر این‌که سطح آب زیرزمینی کم‌عمقی وجود داشته باشد. به‌محض خشک‌شدن خاک، هدررفت بیشتر تبخیر به‌مقدار زیادی کاهش می‌یابد. هرچند به‌دلیل این‌که ریشه گیاهان در بخش عمیق نیمرخ خاک پراکنده شده‌اند،

[1]- Potential Evapotranspiration

بخش قابل توجهی از آب براثر تبخیر و تعرق از لایه‌های زیرزمینی فراهم می‌شود (شکل ۱۳-۶ را مشاهده کنید). آب ذخیره شده در عمق خاکرخ برای پوشش گیاهی در مناطقی که دارای فصول متناوب خشک و تر می‌باشند (رژیم‌های یوستیک وزریک) به‌خصوص مهم می‌باشد، آب ذخیره شده درخاک زیرین در ایام پرباران درطول ایام خشک برای تبخیر وتعرق آماده است.

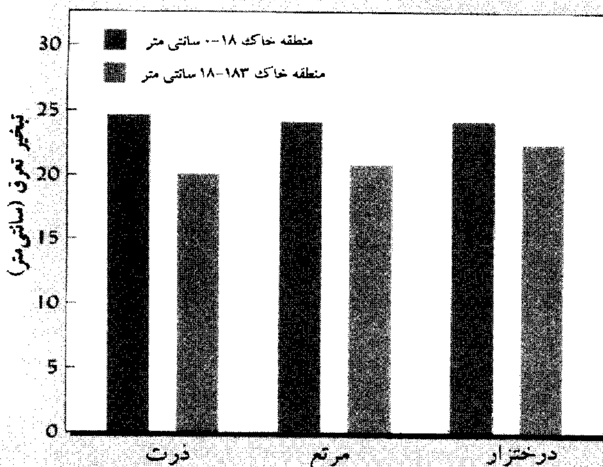
کمبود آب و تنش آب در گیاه

برای پوشش گیاهی متراکم درخاکی که در آن آب به‌مقدار کافی تأمین شده است ET تقریباً معادل PET است. وقتی مقدار آب خاک از حد بهینه کمتر باشد، نبات قادر نیست آب را درخاک با سرعت کافی معادل PET خارج کند. اگر آب از سطح برگ‌ها سریع‌تر از آب وارد شده به ریشه خارج شود گیاه شادابی خود ار از دست داده و پژمرده می‌شود. در تحت این شرایط، تبخیرو تعرق حقیقی[1] کمتر از PET است و نبات دچار تنش آب[2] می‌شود. تفاوت بین PET و تبخیر و تعرق حقیقی کمبود آب[3] نامیده می‌شود کمبود زیاد بیانگر تنش زیاد آب خاک و خشکی می‌باشد.

درتحت شرایط تنش، نباتات اول روزنه‌ها را بر روی سطح برگ‌های خود می‌بندند تا هدررفت کاهش یافته از پژمردگی ممانعت گردد. هرچند بسته‌شدن روزنه‌ها دارای ۲ اثر زیان‌آور است اثر اول: رشد نبات به‌خاطر CO_2 ناکافی که برای فتوسنتز می‌تواند از روزنه‌ها عبور کند متوقف می‌شود و کاهش خنک‌شدن نبات سبب گرم‌شدن زیان‌آور برگ‌ها با ادامه جذب تابش خورشیدی می‌شود. اثر دوم: اجازه می‌دهد که ادوات سنجش اشعه مادون قرمز با تعیین افزایش دمای سطح برگ درمقایسه با دمای هوا تنش آب را در گیاهان برآورد کنند.

تأثیر انرژی تابشی بر PET

تابش خورشیدی ۲۲۶۰ ژول (۵۴۰ کیلوکالری) مورد نیاز برای تبخیر هر گرم آب، چه از سطح خاک(E) و چه از سطح برگ (T) تأمین می‌کند. نور آفتاب مستقیم سبب بیشترین تبخیر می‌شود. در روزهای ابری، تابش خورشیدی کمی به سطوح خاک و نبات برخورد می‌کند، بنابراین، پتانسیل(توان) تبخیر چندان زیاد نیست. آفتاب که به‌سطح زمین با یک زاویه کم (حاده) برخورد می‌کند انرژی خود را در سطح بزرگ‌تری پخش می‌کند، و بنابراین، سبب انجام تبخیر کمتر در واحد سطح درمقایسه با تابش قائم خورشیدی می‌گردد. بنابراین، تبخیر در زمستان و شیب‌هایی که به‌طرف آفتاب نیست (شیب‌های رو به شمال در نیمکره‌ی شمالی شکل ۲۲-۷ را مشاهده کنید) نسبتاً پایین است.



شکل ۱۳-۶ هدررفت ناشی از تبخیر وتعرق ازلایه‌ی سطحی (۱۸-۰سانتی‌متر) درمقایسه با هدررفتن ازخاک تحت‌الارض (۱۸۳-۱۸ سانتی‌متر). توجه کنید که بیشتر از نصف هدررفت آب از ۱۸ سانتی‌متر بالایی و نصف دیگر از ۱۶۵ سانتی‌متری تأمین می‌شود. دوره‌های اندازه‌گیری برای ذرت ۲۳ می‌تا ۲۵ سپتامبر، مرتع ۱۵ آوریل تا ۲۳ اوت، اراضی جنگلی از ۲۵ می‌تا ۲۸ سپتامبرمیباشد.

تأثیر تاج پوشش گیاهی درحال رشد بر تبخیروتعرق

در اراضی تحت پوشش، تابش خورشیدی دریافتی در مسیرخود ازداخل تاج پوشش، یا جذب برگ گیاهان شده و یا به‌زمین رسیده و بوسیله‌ی خاک جذب می‌شود. بنابراین با زیادشدن مساحت برگ در واحد سطح اراضی (نسبتی که به آن شاخص سطح برگ[4] می‌گویند) تابش بیشتری به‌وسیله‌ی پوشش برگی جذب شده که سبب تعرق گردیده و تابش کمتری به سطح خاک برای تبخیر می‌رسد.

---

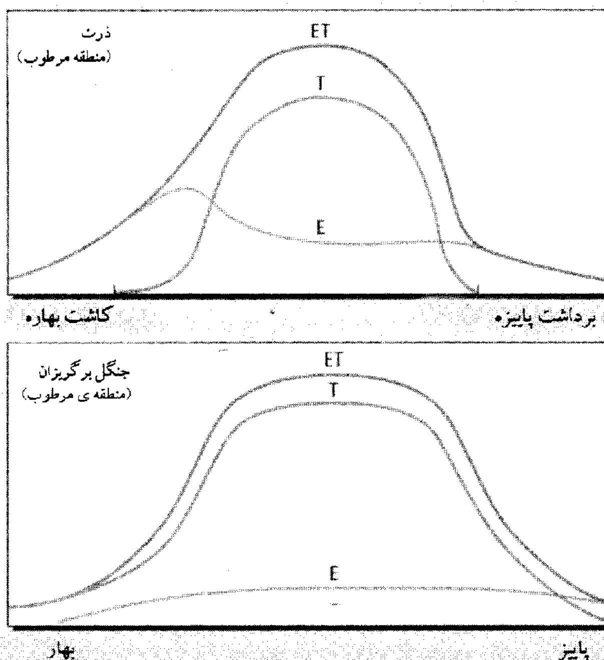
[1] - Actual Evapotranspiration
[2] - Water stress
[3] - Water deficit
[4] - Leaf area index

برای تک‌کشتی در نباتات یک‌ساله، شاخص سطح برگ به‌طور شاخص از صفر هنگام کشت تا حداکثر خود (۳ تا ۵) درگل‌دهی افزایش یافته و سپس با پیرشدن نبات کاهش می‌یابد و در آخر، پس از برداشت نبات مجدداً به صفر می‌رسد (با فرض این‌که به هیچ‌گونه گیاه هرزی امکان رشد داده نشود). تعرق در طول یک دوره‌ی کوتاه (۳ تا ۵ ماه) صورت می‌گیرد درحالی‌که تبخیر از سطح خاک تا وقتی‌که خاک یخ نزده است ادامه خواهد داشت (شکل ۱۴-۱۶). برعکس پوشش گیاهی چندساله مانند چراگاه‌ها، جنگل‌ها، دارای شاخص سطح برگ زیادی در اول و آخر فصل رشد می‌باشند. وقتی‌که کف جنگل (لاشبرگ جنگلی) دست‌نخورده باقی مانده باشد، تابش مستقیم کمتری حتی به سطح خاک می‌رسد و تبخیر در تمام طول سال اندک است. به‌طورخلاصه هدررفتن آب از سطح خاک واز تعرق به‌وسیله‌ی (۱)شرایط اقلیمی (۲)پوشش گیاهی درمقایسه باسطح خاک (شاخص سطح برگ). (۳) کارآیی استفاده ازآب به‌وسیله‌ی گیاهان مختلف و(٤) فصل و طول فصل رشد نبات تعیین می‌شود.

تأثیر ویژگی‌های نبات در تبخیر وتعرق

خصوصیات نبات از جمله عمق انتشار ریشه، طول چرخه‌ی حیات و شکل ظاهری برگ می‌توانند در مقدار هدررفت آب براثر تبخیر و تعرق در فصل رویش گیاه مؤثر باشند. در یک جامعه گیاهی طبیعی، گیاهان با خصوصیات مختلف تمایل دارند که جایگاه بوم شناسی[1] خاصی را اشغال کنند. بعضی از گیاهان که عادت دارند تبخیر وتعرق را به‌عنوان درصدی از PET کاهش دهند عبارتند از گیاهان با خواب در فصل خشک (بلوگراس در هوای گرم تابستان)، ازدست‌دهنده‌گان برگ در فصل خشک (اکثر درختان ساوانا)، گیاهان با شاخص سطح برگ کم درنتیجه فاصله زیاد بوته‌ها (علف نفت[2] در مراتع نیمه‌خشک)، گیاهان با توانایی استفاده از گازکربنیک در شب هنگامی‌که روزنه‌های باز برگ سبب هدررفت زیاد آب نمی‌شود (گیاهان گوشتی بیابانی).

درگیاهان زراعی، مقدار آب مصرف‌شده وابسته به فصل رشد در یک گونه خاص است. جدول ۲-٦ بیانگر این نکته درمورد چند نبات زراعی مورد مطالعه در ایالت کالیفرنیا می‌باشد. برای نمونه، نبات جو که برای چندین ماه عمدتاً در زمستان مرطوب سرد رشد کرده است از یک زراعت لوبیا که فقط برای مدت سه ماه در طول تابستان خشک و گرم رشد کرده است آب کمتری مصرف نموده است. اکثر اختلافات در ET به‌دلیل تفاوت در PET ایامی است که درآن نبات رشد کرده است. هرچند بعضی از نباتات فقط ۷۰ درصد PET را مصرف کرده درحالی‌که بعضی دیگر نزدیک ۹۰ درصد را مصرف کرده‌اند. این نتایج حاکی از آنند که دانشمندان خاک و اصلاح نبات می‌توانند با یکدیگر برای تعیین ویژگی‌های نبات، که سبب ارتقای مقاومت به خشکی و بازده استفاده از آب می‌گردد همکاری کنند.



شکل ١٤-٦ نرخ نسبی تبخیر از سطح خاک(E)، تعرق از سطح برگ(T) و هدررفت کل بخارآب (ET) در دو کشت متفاوت. (بالا) مزرعه ذرت در منطقه مرطوب. تا زمان استقرار کامل نبات اکثر هدررفت بخار از سطح خاک است(E)، اما بار رشد نباتات تعرق به‌زودی غالب خواهد شد (T). سطح خاک سایه‌دار گردیده و E در واقع تا حدی کاهش یابد زیرا اکثر رطوبت از داخل نبات از دست می‌رود وقتی‌که رشد نبات کامل می‌شود T و همینطورET کاهش می‌یابد. برای یک جنگل خزان‌کننده مجاور (شکل پایین) همان روند کلی تشریح شده است، با این تفاوت که تبخیر کمتری از سطح خاک صورت گرفته و بخش زیادتری از هدررفت بخار براثر تعرق می‌باشد. درمنطقه‌ی جنگلی خاک به‌وسیله‌ی تاج درختان در اکثر فصل رشد پوشیده شده است. باید توجه نمود که این شکل مربوط به مناطق شاهد بوده و هدررفت واقعی در مزرعه تحت تأثیر توزیع بارندگی، نوسانات دما وخصوصیات خاک می‌باشد.

---

1 - Ecological Nich
2 - Creosote bush

٦-٤ کارآیی استفاده از آب

میزان ماده‌ی خشک تولید شده به‌وسیله‌ی یک نبات از یک مقدار مشخص آب، مقیاس مهمی از کارآیی (راندمان) استفاده، به‌ویژه درمناطق کم‌آب می‌باشد. این کارآیی ممکن است بر حسب میزان عملکرد خشک نبات در واحد آب تعرق یافته(کارآیی تعرق)، و با برحسب میزان عملکرد خشک نبات در واحد آب مصرف شده براثر تبخیر و تعرق (کارآیی تبخیر و تعرق) باشد. بیان دیگری از کارآیی استفاده از آب نسبت تعرق است[1] که عکس کارآیی تعرق بوده و بر حسب کیلوگرم آب تعرق‌یافته برای تولید ۱ کیلوگرم ماده‌ی خشک است. نسبت تعرق برای یک نبات خاص به‌طور مشخص تحت تأثیر شرایط اقلیمی بوده و از ۲۰۰ تا ۵۰۰ در مناطق مرطوب و تقریباً ۲ برابر آن در مناطق خشک متغییر می‌باشد (جدول ۳-٦).

جدول ۲-٦ آب مورد استفاده‌ی تبخیر وتعرق به‌وسیله‌ی زراعت‌های مختلف کشت شده درخاک‌های خوب آبیاری شده. به‌طورکلی ET به‌وسیله‌ی اقلیم فصلی اداره گردید، اما اختلافات در نسبت ET/PET در بین نباتات مختلف در طول فصول رشد آن‌ها صورت گرفت. PET برای تمام سال در منطقه کالیفرنیا ۱۳۱٦ میلی‌متر بود

زراعت	فصل رشد		ET	PET	ET/PET
	تاریخ کشت	تاریخ برداشت	میلی‌متر	در طول دوره میلی‌متر	در طول دوره
جو	اول نوامبر	۳۱ می	۳۸٤	۵۰٤	٪۷٦
گوجه فرنگی	۳۰ اپریل	۲٤ سپتامبر	٦۸۱	۸٦٦	٪۷۹
ذرت	۱۵ می	۲۰ سپتامبر	٦٤۰	۷۷۵	٪۸۳
لوبیا	۲۱ژوئن	۲٤سپتامبر	٤۰۳	۵٦۸	٪۷۱
چغندر قند	۱۵ ژوئن	۱۵ مارس	۷۹۰	۸۹٦	٪۸۸

جدول ۳-٦ نسبت تعرق نباتات مختلف که در مناطق مختلف تعیین شده است و برحسب کیلوگرم آب مصرف شده برای تولید ۱ کیلوگرم ماده‌ی خشک می‌باشد.

محل / نبات	لوبیا	شبدر	ذرت	ارزن	یولاف	نخود	سیب زمینی	گندم
انگلستان (هارپندن)	۲۰۹	۲٦۹	--	--	---	۲۵۹	--	۲٤۷
آلمان (داهمه)	۲۸۲	۳۱۰	—	—	۳۷٦	۲۷۳	—	۳۳۸
آمریکا (ویزکانزین)	—	۵۷٦	۲۷۱	—	۵۰۳	٤۷۷	۳۸۵	—
هندوستان(پوسا)	—	—	۳۷۷	—	٤٦۹	۵٦۳	—	۵٤٤
آمریکا(کلرادو)	۷۳٦	۷۹۷	۳٦۸	۳۱۰	۵۹۷	۷۸۸	٦۳٦	۵۱۳

نسبت تعرق

دریک منطقه‌ی خاص، تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای در میان گونه‌های نباتی متفاوت وجود دارد. برای مثال جدول ۳-٦ نشان می‌دهد که در ایالت نیمه‌خشک کلرادو ارزن و ذرت دانه‌ای دارای نسبت تعرق نسبتاً کمی می‌باشند و این بدان معنی است که آن‌ها نیازمند مقادیر نسبتاً کمتری آب برای تولید یک کیلوگرم ماده‌ی خشک می‌باشند. برعکس، بعضی از نباتات علوفه‌ای تیره‌ی بقولات مانند شبدر دو برابر آب بیشتر در هر کیلوگرم ماده‌ی خشک مصرف می‌کنند.

می‌توانیم به اهمیت این اعداد با ملاحظه‌ی کشت نبات گندم درمنطقه نیمه‌خشک با نسبت تعرق حدود۵۰۰ کیلوگرم پی ببریم. برای هر کیلوگرم ماده‌ی خشک روی زمین حدود ۵۰۰ کیلو (و یا لیتر) آب تعرق می‌یابد. اگر فرض کنیم که فقط ٤۰ درصد ماده‌ی خشک تولید شده در هنگام برداشت به‌صورت بذر (بقیه کاه و کلش) باشد، مشاهده می‌کنیم که حدود ۱۲۵۰ لیتر آب برای تولید ۱ کیلوگرم بذر گندم مصرف

[1] - Tranpiration Ratio

می‌شود. وقتی آب مصرف شده برای میوه‌ها، سبزی‌ها و علوفه‌ی مورد لزوم احشام و دانه‌ها را به‌حساب آوری، جای تعجب نخواهد بود که میزان آب مورد نیاز برای تأمین غذای یک روز یک فرد بالغ در ایالات متحده را حدود ۷۰۰۰ لیتر (۱۷۰۰ گالن) برآورد کنیم.

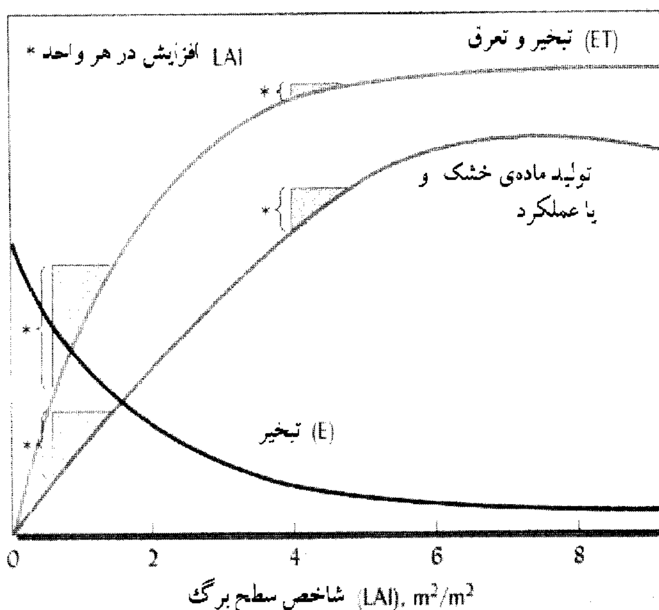
میزان آب لازم برای رسیدن کامل یک نبات حقیقتاً بسیار زیاد است. برای مثال یک زراعت گندم که شامل ۵۰۰۰ کیلوگرم ماده‌ی خشک در هکتار است و دارای نسبت تعرق ۵۰۰ می‌باشد، آبی معادل ۲۵۰ میلی‌متر باران را در طول فصل رشد از خاک استخراج می‌کند. این مقدار آب به‌انضمام آن‌چه از سطح خاک تبخیر می‌شود باید در طول فصل رشد تأمین گردد، تعجب‌آور نخواهد بود که آب، و توانایی خاک برای ذخیره‌ی آن مهم‌ترین عامل حیاتی برای رشد نبات باشد.

کارآیی ET

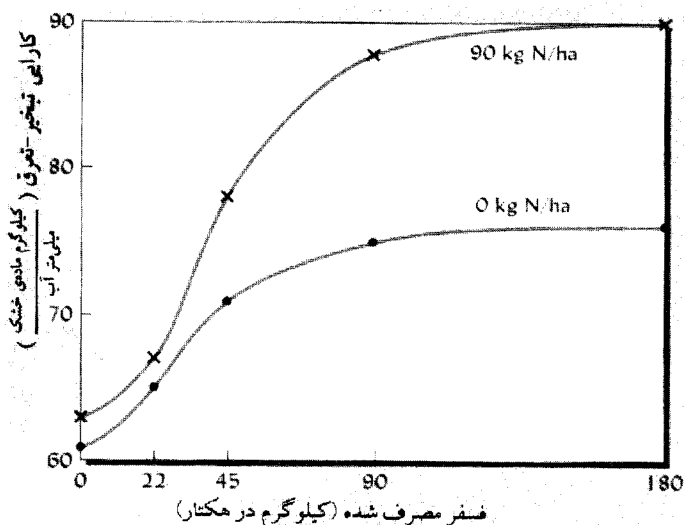
ازآنجاکه تبخیر و تعرق (ET) شامل هر دو تعرق (T) از نبات و تبخیر (E) از سطح خاک می‌باشد، کارآیی ET بیشتر از کارآیی T قابل مدیریت می‌باشد. بالاترین کارآیی ET وقتی بدست می‌آید که تراکم نبات و سایر عوامل رشد برای رشد نبات در حد بهینه باشند. افزایش در شاخص سطح برگ (LAI)، سبب افزایش تولید نبات خواهد شد به‌طوری‌که تمام تابش خورشیدی قابل استفاده عملاً به‌وسیله‌ی سطح برگ جذب می‌شود. به‌علاوه همان‌طورکه در شکل ۱۵-۶ آمده است، وقتی شاخص سطح برگ در فاصله صفر تا ٤ فزونی می‌یابد، تولید نبات به‌مقدار بیشتری از ET افزایش می‌یابد، بنابراین تولید نبات در واحد آب بخار شده (کارآیی تعرق) افزایش می‌یابد.

شکل ١٦-٦ کارآیی تبخیر و تعرق را در اثر افزایش کود فسفر و نیتروژن در یک خاک دارای کمبود نشان می‌دهد. افزایش میزان تولید در واحد آب تبخیر شده حاصل گیاهان پرقدرت کود خورده است که (۱)ریشه‌ها را به عمق بیشتر در داخل نیمرخ خاک انتشار داده، و (۲)تولید سطح برگ بیشتر که سبب جذب بخش بزرگی از تابش خورشیدی گردیده و تابش کمتری برای تبخیر آب از خاک باقی می‌ماند (شکل ۱۵-٦ را مشاهده کنید). بنابراین با افزایش تولید در اثر بهبود تغذیه، T افزایش قابل‌ملاحظه‌ای یافته اما E کاهش می‌یابد. بنابراین، ET به‌مقدار ناچیزی افزایش می‌یابد. می‌توانیم استنتاج کنیم تا زمانی‌که تأمین آب محدود نشده باشد، نگهداری شرایط بهینه برای رشد نبات (با انتخاب فاصله اندک در ردیف‌های کشت و یا انتخاب ارقام دارای قدرت بیشتر) کارآیی استفاده از آب را به‌وسیله‌ی نبات افزایش می‌دهد.

درمحیط‌های نیمه‌خشک اگر آب برای آبیاری موجود نبود و مدت بارندگی بسیار کوتاه باشد این اصل را باید با احتیاط به‌کار گرفت. کمترین افزایش در استفاده از آب کل (ET) به‌وسیله‌ی نباتات دارای رشد زیاد ممکن است آب ذخیره شده در خاک را قبل از کامل‌شدن چرخه حیات نبات خارج ساخته و سبب تنش شدید آب وحتی مرگ نبات قبل از تولید هر گونه عملکرد قابل برداشت شود.



شکل۱۵-٦ اثر کلی شاخص سطح برگ LAI در تولید، تبخیروتعرق (ET) و تبخیر (E). قسمت‌های هاشورخورده نشان‌دهنده افزایش در اثر LAI به‌میزان یک واحد می‌باشد. توجه کنید ET با افزایش LAI تا نقطه‌ای افزایش یافته و سپس پس از آن‌که پوشش برگی تمام تابش خورشیدی را دریافت کرد یکنواخت می‌شود. E همزمان کاهش یافته و در حد بسیار پایینی یکنواخت می‌گردد. به‌جز در مقادیر بسیار بالا و یا بسیار پایین LAI عملیاتی (مانند کود دادن و فاصله‌ی نزدیک کشت) که سبب افزایش LAI می‌شود احتمالا سبب افزایش تولیدی به نسبت بیشتر از افزایش ET مربوط می‌شود و حاصل آن بهبود کارآیی استفاده از آب می‌باشد.



شکل ۱۶-۶ کارآیی استفاده از آب در گندم تحت تأثیر مصرف کود فسفره در بود یا نبود کود از تـه (معدل ۱۲ سال). کارآیی تعرق با افـزایش میـزان مصرف کود افزایش یافت.

۵-۶ مدیریت تبخیر و تعرق

همان‌طورکه هم اکنون مشاهده شد هدررفت آب براثر ET در ارتباط با کل سطح برگ مواجه با تابش خورشیدی است. تنظیم کل سطح برگ مواجهه با تابش می‌تواند ET را در تعادل با PET (و بنابراین تنش کمتر آب) قراردهد ۵ راه‌کار برای تحقق این امر به‌شرح زیر می‌باشد:

۱-اگرآب بتواند به‌وسیله‌ی آبیاری افزایش یابد (راه‌حلی که در بخش ۱۱-۶ مورد بحث قرار خواهد گرفت) هـر دو ET و تولیـد عملکـرد احتمالا به‌طور شدید افزایش می‌یابند. این اقدام اغلب به‌دلیل هزینه بالا و نبود منبع آب امکان‌پذیر نیست.

۲-اگر رشد سریع احتمالا سبب تخلیه‌ی آب قابل استفاده قبل از رشد کامل نبات گردد شرط عقل این است که عوامل رشـد نبـات، ماننـد عرضه‌ی عناصر غذایی را درحد کم برای تنظیم LAI مدیریت نمود.

۳-شاخص سطح برگ نبات موردنظر را با تراکم کشت کمتر، و یا با زیاد نمودن فاصله کشت نبات محدود نمود هرچند باید توجه داشـت که نباتاتی که با فاصله زیاد کشت می‌شوند تمایل دارند که هر یک شاخص سطح برگ بیشتری تولید کرده و تراکم کمتر را تا حدی جبران کنند. به‌علاوه فاصله بیشتر سبب تبخیر بیشتری از سطح خاک می‌شود.

۴-حذف گیاهان نامطلوب (گیاهان هرز) می‌تواند سبب حذف عمده هدررفت ناشی از تعرق گیاهان هرز گردد که می‌توانند عرضه آب قابل استفاده را برای گیاهان مطلوب کاهش دهند.

۵-در مناطق نیمه‌خشک حذف پوشش گیاهی در طول یک مدت مشخص می‌تواند سبب ذخیره‌ی آب باران در خاکرخ برای کشـت بعـدی گردد. دو راه‌یافت آخری اول مورد بحث قرار خواهند گرفت.

مهار گیاهان ناخواسته

تعرق ناشی از علف‌های هرز ممکن است ذخایر آب را که موردنیاز کشت‌های موردنظر است به‌طور جدی تخلیه کند. به‌علت اسـتفاده‌ی شدید آب خاک، گیاهان هرز در استقرار و رشد جنگل‌ها، مراتع و نباتات زراعی مطلوب مزاحمت ایجاد می‌کنند. گیاهان هرز به‌طور سنتی با انجام عملیات کشت‌وکار مهار می‌شوند، اما در دهه‌های اخیر گیاهان هرز به‌مقدار بیشتر با استفاده از علف‌کش‌ها از بین می‌روند (بخش۲-۱۸ را مشاهده کنید). حذف گیاهان هرز به‌وسیله‌ی علف‌کش‌ها دارای برتری‌های زیادی بر عملیات کشت‌وکار می‌باشد، از جمله انرژی و نیروی کار کمتر، و امکان دست‌نخورده باقی‌ماندن پس‌ماندهای گیاهی پوشش‌دهنده می‌باشد (بخش ۶-۶ را مشـاهده کنیـد). مبـارزه شـیمیایی بـا گیاهان هرز دارای زیان‌های زیادی در بعضی شرایط است، که از جمله قیمت بالای آن‌ها، افزایش مقاومت گیاهان هرز به ترکیبات خـاص، خسارت به زراعت مورد نظر و ایجاد مسمومیت در محیط می‌باشد. در رابطه با مطلب آخر باید اشاره داشت که بعضی از علف‌کش‌ها برای جانداران خاک، ماهی‌ها و حیوانات خاکزی سمی می‌باشند، و در مقادیر نامطلوب در آبراهه‌های اراضی و منابع آب مشروب پـایین دسـت تمرکز می‌یابند (بخش ۳-۱۸ رامشاهده کنید).

جایگزین‌هایی برای مبارزه شیمیایی با گیاهان هرز ابداع شده‌اند. برای مثال بعضی از گیاهان هرز را می‌توان به‌وسیله‌ی عوامل زیستی مهار کرد، و آن مدیریت حمله‌ی حشرات و یا امراض خاص فقط به گیاه هرز می‌باشد. برداشت و یا چراکردن به‌موقع می‌تواند مسأله گیاهان هرز

را کاهش دهد. به‌علاوه فناوری‌های کشت‌وکار برای مبارزه با گیاهان هرز بهبود یافته، و بنابراین نیاز به علف‌کش‌های شیمیایی را به‌حداقل رسانده است. ادوات نوینی قادر می‌باشد که در داخل پس‌ماندهای گیاهی زیاد کشت‌وکار کرده و در مهار علف‌های هرز بدون مصرف مواد شیمیایی، و ضمن حفظ پوشش بقایای سطحی به‌مقدار مطلوب، بسیار امیدوارکننده باشند.

دوره‌ی آیش در نظام‌های زراعت دیم

نظام‌های کشت که آیش تابستانه (دوره بدون نبات) را به‌مدت یک‌سال در تناوب با کشت سنتی در سال بعد قرار می‌دهند در بعضی مواقع برای ذخیره رطوبت در محیط‌های دارای بارندگی اندک مورد استفاده می‌باشند. برای محافظت خاک و کمک به بدام‌افتادن برف، کلش زراعت قبل معمولاً حداقل تا بهار سال آیش بر روی خاک باقی می‌ماند. برای جلوگیری از هدررفت رطوبت براثر تعرق، گیاهان هرز در سال آیش به‌وسیله‌ی خاک‌ورزی سبک و یا علف‌کش‌ها از بین برده می‌شوند. بخش بالایی شکل ۲۱-۳ نشان‌دهنده نوارهای متناوب شاخص آیش تابستانه با گندم در منطقه‌ای با خاک‌های استول می‌باشد.

درسالی که خاک آیش باقی می‌ماند مقداری هدررفت ناشی از تبخیر صورت می‌گیرد اما از آنجاکه نباتی کشت نمی‌شود هدررفت ناشی از تعرق حذف می‌گردد. بنابراین، اکثر بارندگی که در داخل خاک در سال آیش نفوذ یافته در خاکرخ ذخیره می‌شود. وقتی‌که نبات در سال بعد کشت می‌گردد درمقایسه با نباتی که سال قبل نیز کشت گردیده دسترسی بیشتری به آب ذخیره شده در خاکرخ خواهد داشت. بنابراین عملکرد پس از آیش‌گذاری، معمولاً بیشتر می‌باشد اما همیشه چنان بالا نیست که بتواند جبران عملکرد کشت سال قبل را بکند (جدول ٤-٦). آیش تابستانه وقتی‌که وقوع باران غیرقابل‌اطمینان بوده و بارندگی برای تولید عملکرد کافی نباشد، مطمئناً سبب کاهش خطرات از بین رفتن محصول خواهد شد.

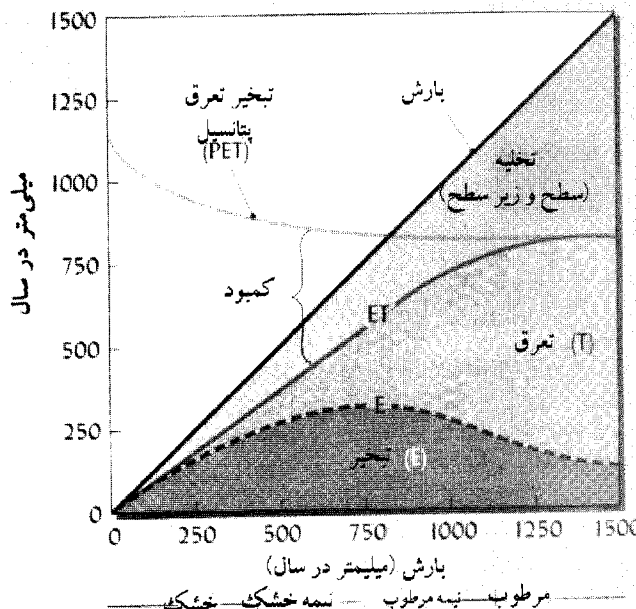
٦-٦ مدیریت تبخیر سطحی

بیشتر از نصف بارندگی در مناطق نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب معمولاً براثر تبخیر(E) مستقیماً از سطح خاک به نیوار باز می‌گردد و در سامانه‌های مرتعی طبیعی، E بخش بزرگی از ET می‌باشد زیرا جوامع گیاهی تمایل دارند خود را چنان تنظیم کنند که منتهی به تراکم گیاهی و سطح برگ کمتری برای به‌حداقل رساندن فاصله بین PET و ET گردند. به‌علاوه پس‌ماندهای گیاهی در سطح خاک بسیار تنک می‌باشد. هدررفت ناشی از تبخیر در مناطق خشک و در خاک‌های تحت آبیاری، به‌خصوص چنان‌چه عملیات نامؤثری به‌کار گرفته شوند، نیز بالا می‌باشد (بخش۱۱-٦ را مشاهده کنید). در مناطق مرطوب با زراعت دیم (بارانی) هدررفت ناشی از E در دوره بدون باران، بالا می‌باشد. چنین هدررفت رطوبت سبب غارت بیشتر انرژی رشد جوامع گیاهی و کاهش آب موجود برای تغذیه رودخانه‌ها می‌شود. مطالعه دقیق شکل۱۷-٦ این روابط و اصولی را که در بخش‌های ٤-٦ و٥-٦ مورد بحث قرار گرفت، روشن می‌کند.

در اراضی زراعی، مهم‌ترین عملیات مؤثر به‌منظور کنترل E روش‌هایی هستند که مقداری پوشش برای خاک فراهم می‌سازند این پوشش به بهترین وجه می‌تواند به‌وسیله‌ی خاک‌پوش‌ها و یا با اجرای عملیات خاک‌ورزی حفاظتی خاص، ایجاد شود که سبب باقی‌ماندن پس‌ماندهای گیاهی درسطح خاک همانند پوشش برروی بوم‌سامان‌های طبیعی می‌گردد.

خاک‌پوش‌های گیاهی

خاک‌پوش عبارت‌است از هر ماده‌ای است که بر روی سطح خاک اساساً به‌منظور کاهش تبخیر و یا مبارزه با گیاهان هرز قرار داده می‌شود. نمونه‌های آن عبارتند از خاک اره، کود دامی، کاه و کلش، برگ و پس‌ماندهای گیاهی. خاک‌پوش‌ها میتوانند درکنترل تبخیر بسیار مؤثر باشند. اما ممکن است تولید و یا خرید و انتقال آن‌ها به مزرعه و استعمال در خاک بسیار پرهزینه و نیازمند نیروی کارگری زیاد باشد. مصرف خاک‌پوش برای مساحت‌های کوچک (باغچه‌ها و ایجاد فضای سبز) و برای نباتات گران‌بها مانند شاخه‌های گل، انواع تمشک‌ها، توت‌فرنگی، درختان میوه و سبزی‌های خاص بسیار عملی است، علاوه بر کاهش تبخیر، خاک‌پوش‌های گیاهی ممکن است مزایای زیر را در بر داشته باشد: (۱) کاهش توزیع امراض ناشی از خاک (۲) تهیه گذرگاه‌های تمیز برای پیاده‌روی(۳) کاهش رشد علف هرز (اگر ضخامت زیاد داشته باشند) (٤) معتدل‌نمودن دمای خاک به‌خصوص ممانعت از گرمای بیش از حد در ماه‌های تابستان (بخش ۱۲-۷ رامشاهده کنید) (٥) افزایش نفوذ آب درخاک (٦)تهیه‌ی ماده‌ی آلی و احتمالاً عناصر غذایی در خاک (۷) تقویت جمعیت کرم‌های خاکی و (۸) کاهش فرسایش خاک. اکثر این مزایای جانبی در استفاده از خاک‌پوش‌های پلاستیکی و کاغذی که مورد بحث قرار خواهند گرفت وجود ندارد.



شکل۱۷-۶ تقسیم‌بندی هدررفت آب مایع (تخلیه)، هدررفت بخار (تبخیر و تعرق) در مناطقی که میزان بارندگی سالانه آن‌ها از کم (مناطق خشک) تا زیاد (مناطق مرطوب) متغیر می‌باشد. نمونه نشان داده فرض می‌کند که دما در مناطق دارای بارندگی متفاوت ثابت می‌باشد تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) درمناطق دارای بارندگی کمتر، به‌خاطر رطوبت نسبی کمتر مقداری بیشتر است، زیرا سبب افزایش شیب فشاربخار در دمای ثابت می‌گردد. تبخیر(E) بیانگر بخش بزرگی از هدررفت کل بخار آب (ET) در مناطق خشک‌تر به‌دلیل پوشش تُنک نباتات و براثر رقابت آن‌ها برای آب می‌باشد. بیشترین تفاوت در بین PET وET سبب بیشترین کمبود و تنش آب بسیار شدید برای نباتات می‌شود.

خاک‌پوش‌های کاغذی و پلاستیکی

کاغذها و پلاستیک‌هایی که به‌طور اختصاصی فراهم شده‌اند به‌عنوان خاک‌پوش برای کنترل هدررفت ناشی از تبخیر به‌کار می‌روند. پلاستیک‌ها و کاغذهای سیاه رنگ نیز به‌طور مؤثر سبب کنترل علف‌های هرز می‌شوند. این خاک‌پوش معمولا به‌وسیله‌ی ماشین مورد کاربرد قرار می‌گیرند و گیاهان در داخل شیارها و یا منافذ در سطح خاک‌پوش رشد می‌کنند (شکل ۱۸-۶). این خاک‌پوش‌ها به‌طور وسیعی برای سبزی‌ها و میوه‌های کوچک و فضای سبز مورد استفاده می‌باشند در این مورد برای ایجاد ظاهر خوشایند آن‌ها به‌وسیله‌ی یک لایه از پوست درخت و یا سنگ‌ریزه پوشیده می‌شوند. تا مادامی‌که زمین پوشش‌دار است تبخیر مهار است، در بعضی موارد افزایش قابل‌توجهی در رشد نبات گزارش شده است. به‌جز مواردی‌که بارندگی خیلی شدید است خاک‌پوش تأثیر جدی در نفوذ آب به‌داخل خاک ندارد.

دمای خاک در زیر خاک‌پوش پلاستیکی معمولاً ۸ تا ۱۰ درجه بیشتر از خاک‌پوش کاه و کلش است. دمای بالاتر ممکن‌است برای استقرار نبات در اول بهار مفید باشد، اما می‌تواند سبب کاهش عملکرد در گیاهان حساس به گرما در تابستان شود (بخش۱۲-۷ را مشاهده کنید). مسأله‌ی معمول در کاربرد خاک‌پوش‌های پلاستیکی این است که آن‌ها به‌ندرت به‌طورکامل در آخر فصل از زمین خارج می‌شوند، بنابراین بعد از چند سال تراکم پلاستیک اشغال درخاک سبب ایجاد یک منظره ناخوشایند و مزاحمت در حرکت آب و انجام کشت‌وکار می‌شود.

پس‌ماندهای گیاهی و عملیات خاک‌ورزی حفاظتی[1]

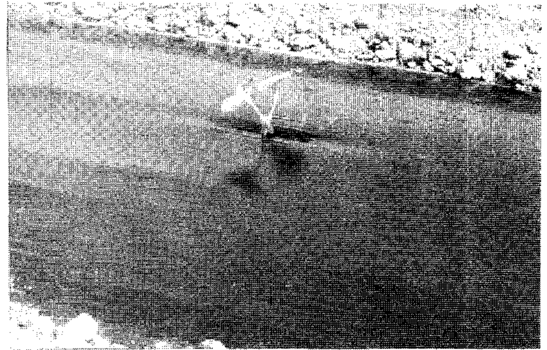
پس‌مانده‌های گیاهی باقی‌مانده بر روی سطح خاک درکاهش E و درنتیجه در ذخیره‌ی رطوبت خاک مؤثر می‌باشد. عملیات خاک‌ورزی حفاظتی درصد بالایی از پس‌ماندهای گیاهی نبات قبلی را در سطح خاک ویا نزدیکی سطح خاک باقی می‌گذارد (شکل ۱۹-۶). یکی از عملیات خاک‌ورزی حفاظتی که به‌طوروسیعی درمناطق نیمه‌مرطوب ومناطق نیمه‌خشک مورد استفاده قرار می‌گیرد، خاک‌ورزی خاک‌پوش کلشی است. با این روش پس‌مانده‌ها مانند کلش گندم و ساقه‌ی ذرت حاصل از نبات قبلی به‌طور یکنواخت درسطح خاک پخش می‌شوند، زمین سپس به‌وسیله‌ی یک ابزار مخصوص، که باعث می‌گردد اکثر پس‌مانده‌های گیاهی در سطح و یا نزدیکی سطح باقی بمانند شخم زده می‌شود. بذرکارهای خاک‌ورزی حفاظتی قادرند که در داخل کلش کشت کرده و اجازه می‌دهند که اکثر کلش در دوره استقرار نبات در سطح خاک بعدی باقی بماند (شکل ۱۹-۶ را مشاهده کنید). ترکیب آیش تابستانه[2] با خاک‌پوش کلشی[3] همان‌طورکه در جدول۵-۶ آمده است سبب ذخیره‌ی رطوبت در مناطق خشک می‌شود. متأسفانه، رشد نبات در مناطق خشک معمولاً برای تولید پس‌ماندهای گیاهی، به‌مقداری‌که برای کاهش E لازم است معمولاً ناکافی می‌باشد.

[1] - Conservation tillage
[2] - Summer fallow system
[3] - Stubble mulch

جدول ٤-٦ عملکرد گندم (کیلوگرم‌درهکتار) در ۷ نقطه در دشت‌های بزرگ آمریکا که در آن‌ها کشت مداوم وکشت آیش با هم مقایسه شده‌اند

محل	سال‌های دارای آمار	بعد از آیش	بعد از گندم
هاور- مونتانا	۳۵	۲۱۰۰	٥٤۰
دیکنسون – داکوتای شمالی	٤٤	۱٤۰۰	۷۸۰
نیول – داکوتای جنوبی	٤۰	۱٤۲۰	۹۱۰
اکرون – کلرداو	٦۰	۱٤۲۰	٥۰۰
نورت پلات- نبرسکا	٥٦	۲۱٤۰	۸۳۰
کولبی- کاتراس	٤۹	۱۳۲۰	٦۲۰
بوش لند- تگزاس	۲۹	۱۰۱۰	٦٤۰

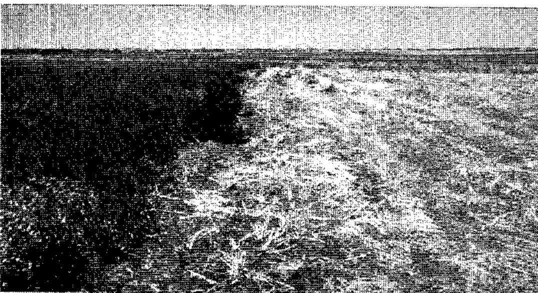
سایر نظام‌های خاک‌ورزی حفاظتی که سبب باقی‌ماندن پس‌مانده در سطح خاک می‌شوند شامل نظام بدون خاک‌ورزی[1] (شکل ۱۹-٦)، است که در آن نبات جدید مستقیماً در داخل ریشه و یا پس‌ماندهای گیاهی نبات پیشین بدون هر نوع عملیات شخم و دیسک کاشته می‌شود. این نظام و دیگر نظام‌های خاک‌ورزی حفاظتی در بخش ٦-۱۷ مورد توجه بیشتر قرار خواهند گرفت





شکل ۱۸-٦ برای نباتات دارای ارزش نقدی بالا معمولاً از خاک‌پوش‌های پلاستیکی استفاده می‌شود پلاستیک به‌وسیله‌ی ماشین نصب گشته (چپ) و در همان موقع نباتات نشاء می‌شوند (سمت راست). خاک‌پوش‌های پلاستیکی سبب مهار گیاهان هرز، ذخیره رطوبت،تقویت رشد زود هنگام و حذف نیاز به دندانه‌زدن می‌شود. قیمت بالای پلاستیک استفاده از آن را فقط در گیاهان گرانبها عملی می‌سازد.





شکل ۱۹-٦ خاک‌ورزی حفاظتی سبب باقی‌ماندن پس‌مانده‌های گیاهی بر روی سطح خاک شده و سبب کاهش تلفات تبخیر و فرسایش خاک می‌گردد (سمت چپ). در منطقه‌ی نیمه‌خشک (داکوتای جنوبی) کاه و کش حاصل از زراعت گندم قبلی در داخل خاک نیمه‌مدفون شده تا در مقابل باد مقاومت نموده و در عین حال بتواند اکثر سطح خاک را پوشش دهد. در سال بعد نصف چپ مزرعه که در عکس نشان داده شده و هم اکنون تحت کشت گندم است زیر خاک‌پوش کلشی خواهد بود و در نصف راست مزرعه گندم کاشته می‌شود. (سمت راست) ذرت بدون خاک‌ورزی در داخل کلش باقی‌مانده در سطح خاک از زراعت قبلی گندم در مناطق مرطوب رشد می‌کند. توجه کنید که در نظام نبود خاک‌ورزی (No-tillage) تقریباً خاک به‌طور مستقیم در معرض تابش خورشید، باران و باد قرار نمی‌گیرد.

[1] - No-tillage

۷-۶ هدررفت آب به‌صورت مایع از خاک

در بحث خود در چرخه آب به دو نوع هدررفت آب به‌صورت مایع از خاک اشاره کردیم.(۱) فرونشست و یا زه‌کشی آب و (۲) رواناب (شکل ۲-۶ را مشاهده کنید). فرونشست آب سبب تغذیه‌ی آب زیرزمینی شده و مواد شیمیایی را از خاک خارج می‌سازد. رواناب اغلب مقادیر قابل‌توجهی از خاک و مواد شیمیایی حل شده را (فرسایش) حمل می‌کند.

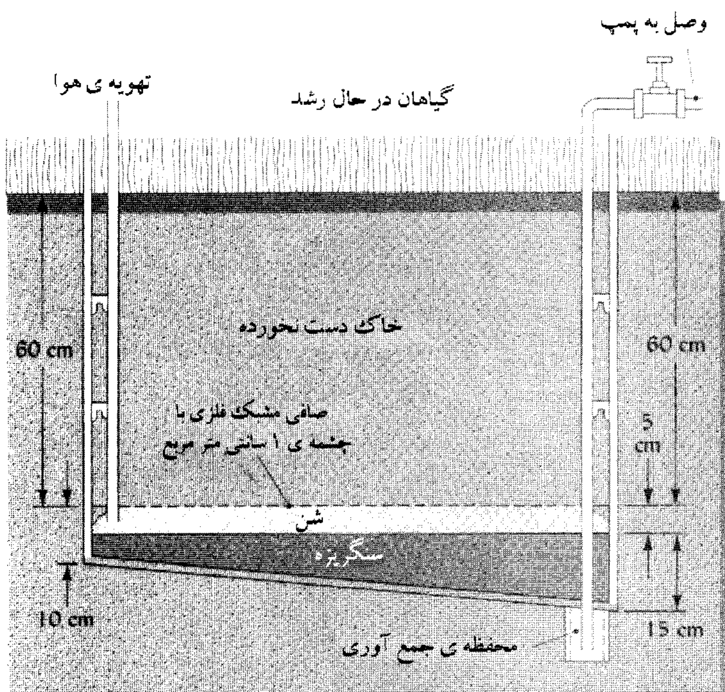
فرونشست[1] و آبشویی[2]: روش‌های مطالعه

دو روش کلی برای مطالعه‌ی هدررفت ناشی از فرونشست و آبشویی وجود دارد که عبارتند از (۱) لوله‌های مشبک زیرزمینی که معمولاً تنبوشه‌های زه‌کشی نامیده شده و برای تحقق هدف مورد نظر تعبیه می‌گردند و (۲) لایسیمترهای[3] ساخته‌شده‌ی ویژه. در روش اول منطقه‌ای باید انتخاب شود که در آن تنبوشه‌های زه‌کشی فقط آب منطقه مورد مطالعه را دریافت دارد. مزیت این روش آن است که هدررفت آب و عناصر غذایی در خاک یک منطقه‌ی بزرگ در شرایط طبیعی مزرعه می‌تواند تعیین گردد.

در روش لایسیمتر حجم کمی از خاک مزرعه دست نخورده به‌وسیله‌ی دیواره‌های بتونی و یا فلزی (شکل ۲۰-۶) از اطراف خود جدا می‌گردد. در هردو مورد، آبی که در داخل خاک به عمق نفوذ یافته است جمع‌آوری و اندازه‌گیری می‌شود. مزیت لایسیمتر بر تنبوشه‌های زه‌کشی این است که از تغییرات در یک مزرعه بزرگ اجتناب می‌شود، لایسیمترهای متعدد می‌تواند در یک آزمایش صحرایی تحت نظارت برای مقایسه‌ی نظام‌های مختلف مدیریت آب و خاک مورد استفاده قرار گیرند.

هدررفت ناشی از فرونشست

وقتی‌که میزان بارندگی رسیده به یک خاک از ظرفیت نگهداری آب خاک بیشتر شود، هدررفت ناشی از فرونشست صورت می‌گیرد. هدررفت ناشی از فرونشست تحت تأثیر (۱) مقدار بارندگی و توزیع آن، (۲) رواناب حاصل از زمین، (۳) تبخیر، (٤) خصوصیت خاک و (۵) سرشت پوشش گیاهی می‌باشد.



شکل ۲۰-۶ لایسیمتر مزرعه‌ای که برای جمع‌آوری آب فرونشست از خاک دست نخورده مورد استفاده می‌باشد. آب در داخل خاک نفوذ یافته و به لایه‌ی شن و سنگ‌ریزه رسیده، و از آن‌جا در طول یک سطح شیب‌دار به مخزن جمع‌آوری هدایت می‌شود، که از آن‌جا می‌تواند پمپاژ شده و جمع‌آوری گردد. بعضی از نظام‌های پیشرفته‌تر به ادواتی مجهز می‌باشند که می‌توانند کل لایسیمتر را توزین کنند. بنابراین امکان اندازه‌گیری جذب آب به‌وسیله‌ی گیاه و تبخیر و تعرق را نیز فراهم می‌سازند

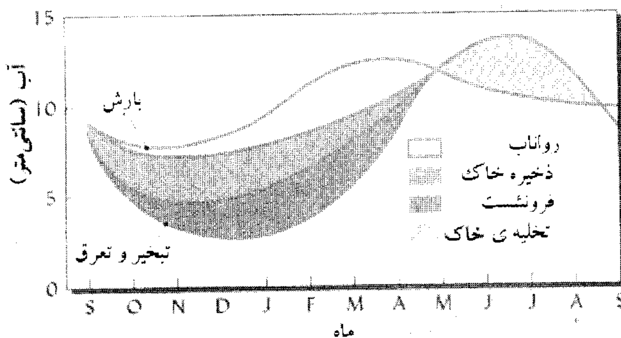
[1] - Deep percolation
[2] - Leaching
[3] - Lysimeters

تعادل فرونشست و تبخیر

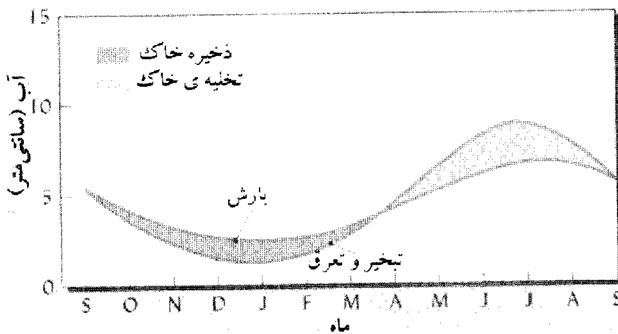
شکل ۲۱-۶ رابطه‌ی بین بارندگی، رواناب، ذخیره‌ی آب و فرونشست آب را در مناطق معرف مرطوب، نیمه‌مرطوب، و برای یک مزرعه تحت آبیاری در مناطق خشک تشریح می‌کند. در مناطق مرطوب معتدل نرخ نفوذ آب در خاک (بارندگی منهای رواناب)، حداقل در فصول خاص از میزان تبخیر تعرق بالاتر است. به‌محض این‌که ظرفیت مزرعه تکمیل شود، فرونشست در لایه‌های پایین خاک صورت می‌گیرد.

در مثالی که در شکل ۲۱-۶ الف نشان داده شده است بیشینه‌ی فرونشست در زمستان و اول بهار، که تبخیر در کمترین مقدار است صورت می‌گیرد. درطول تابستان، فرونشست اندکی صورت می‌گیرد. درواقع تبخیروتعرق از بارندگی پیشی می‌گیرد که سبب تخلیه آب خاک می‌شود. رشد معمول نبات فقط به‌خاطر وجود آب ذخیره شده در خاک از زمستان قبلی و یا اول بهار امکان‌پذیر است.

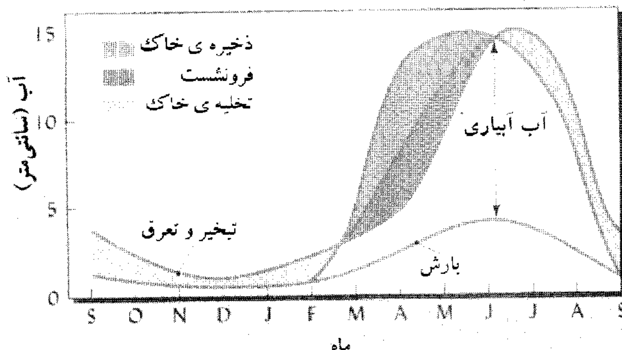
در منطقه‌ی نیمه‌خشک همانند منطقه‌ی مرطوب، آب در طول ماه‌های زمستان در خاک ذخیره شده و برای رفع نیاز کمبود رطوبت در تابستان مصرف می‌شود، اما به‌علت بارندگی اندک، رواناب اندک بوده و اساساً هیچ نوعی فرونشست از خاکرخ صورت نمی‌گیرد. آب ممکن است به لایه‌های زیرین حرکت کند اما به‌وسیله‌ی ریشه‌ی نبات جذب و نهایتاً براثر تعرق از دست می‌رود.



(الف) منطقه ی مرطوب (رژیم رطوبتی خاک یدیک)



(ب) منطقه نیمه مرطوب (رژیم رطوبتی خاک یوستیک)



(ج) منطقه ی خشک (رژیم رطوبتی خاک اریدیک)، آبیاری

شکل ۲۱-۶ منحنی‌های کلی بارندگی و تبخیروتعرق در سه منطقه معتدل: الف)یک منطقه‌ی مرطوب. ب)یک منطقه‌ی نیمه‌خشک و ج)یک‌ی منطقه تحت آبیاری. به نبود فرونشست داخل خاک در منطقه‌ی نیمه‌خشک توجه داشته باشید. در هرحال آب در داخل خاک ذخیره می‌شود. این رطوبت بعدها، هنگامی که میزان تبخیروتعرق از بارندگی بیشتر می‌شود مورد مصرف قرار می‌گیرد. در منطقه‌ی نیمه‌خشک تبخیروتعرق احتمالاً درصورت وجود رطوبت کافی در خاک بسیار بالاتر خواهد بود. در خاک‌های تحت آبیاری منطقه‌ی خشک، نیازهای تبخیر تعرق خیلی بالا با انجام آبیاری تأمین خواهد شد. رطوبت خاک ذخیره شده در بهار با رشد بعدی نبات درتابستان مورد مصرف قرارگرفته و از طریق تبخیر و در آخر پاییز و زمستان از دسترس خارج خواهد شد.

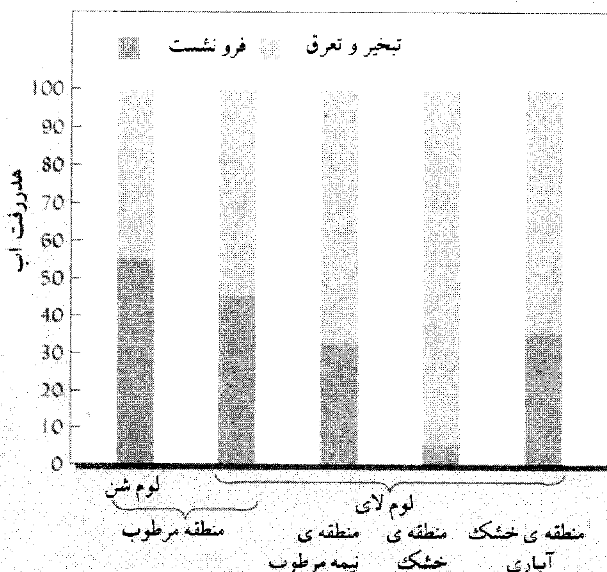
خاک‌های تحت آبیاری در مناطق خشک دارای شیوه‌ای منحصربه‌فرد می‌باشند. آبیاری در اوایل بهار همراه با بارندگی اندک آب بیشتری از آن‌چه که براثر تبخیروتعرق از دست می‌رود فراهم می‌کند. خاک از آب اشباع شده و ممکن است تا حدی فرونشست نیز صورت گیرد. همان‌طورکه در بخش ۹-۱۰ مشاهده خواهیم کرد. نظام آبیاری باید آب کافی را برای انجام مقداری فرونشست به‌منظور حذف نمک‌های اضافی فراهم کند. در طول ماه‌های تابستان، پاییز و زمستان، آب ذخیره شده تخلیه می‌شود زیرا آن‌چه به خاک اضافه شده است، از تبخیروتعرق بالا که در پاسخ به شیب زیاد فشار بخار آب انجام می‌شود کمتر است.

موقعیتی که در شکل ۲۱-۶ آمده است شاخص مناطق معتدل است که درآن تبخیروتعرق پتانسیل(**PET**) به‌طور فصلی با دما تغییر می‌کند. در مناطق حاره‌ای که دما تا حدی بالاتر اما کمتر متغیر است **PET** در طول سال تا حدی یکنواخت‌تر می‌باشد. گرچه با تغییرات فصلی رطوبت تغییر می‌کند. در مناطق حاره‌ای با بارندگی زیاد (رژیم رطوبتی پریودیک)[1] رواناب بسیار بیشتر و فرونشست بیشتری از آن‌چه در شکل ۲۱-۶ نشان داده شده است انجام می‌گیرد. در اراضی تحت آبیاری مناطق حاره‌ای خشک روابط مشابه به مناطق معتدل خشک نشان داده شده است

هدررفت آب براثر تبخیروتعرق و فرونشست در خاک‌های موجود و در مناطق اقلیمی متفاوت به‌طور مقایسه‌ای در شکل ۲۲-۶ آمده است این تفاوت‌ها را در هنگام مطالعه بخش بعدی درمورد فرونشست و آب‌های تحت‌الارض باید به‌خاطر داشت.

جدول ۵-۶ میزان ذخیره آب خاک از مقادیر خاک‌پوش کلشی درطول آیش در ٤ نقطه از دشت‌های بزرگ آمریکا

موقعیت	بارندگی متوسط سالانه میلی‌متر	میزان آب ذخیره شده در مقادیر مختلف خاک‌پوش، میلی‌متر			
		صفر مگاگرم در هکتار	۳/۲ مگاگرم در هکتار	٤/٤ مگاگرم در هکتار	٦/٦ مگاگرم درهکتار
بوش لند- تگزاس	۵۰۸	۷۱	۹۹	۹۹	۱۰۷
اکرن- کلرادو	٤۷٦	۱۳٤	۱۵۰	۱٦۵	۱۸۵
نورت پلات- کلرادو	٤٦۲	۱٦۵	۱۹۳	۲۱٦	۲۲٤
سیدنی- مونتانا	۳۷۹	۵۳	٦۹	۹٤	۱۰۲
میانگین	-	۱۰۷	۱۲۷	۱٤۵	۱۵۷
میانگین آب اضافی بامصرف خاک‌پوش	-	-	۲۰	۳۸	۵۰



شکل ۲۲-۶ درصد آب وارد شده در خاک که براثر فرونشست و تبخیروتعرق از دست می‌رود. ارقام شاخص برای مناطق اقلیمی متفاوت نشان داده شده است.

[1] - Perudic moisture regime

۸-۶ فرونشست و آب‌های زیرزمینی

هنگامی‌که آب زه‌کشی به‌طرف پایین و به خارج از خاک حرکت می‌کند، نهایتاً با منطقه‌ای مواجه می‌شود که درآن منافذ تماماً از آب اشباع می‌باشد. معمولاً این منطقه‌ی اشباع بر روی لایه‌ای از رس و یا سنگ نفوذناپذیر قرار گرفته است. سطح بالایی این منطقه‌ی اشباع سطح ایستابی[1] نامیده می‌شود و آب واقع در منطقه اشباع آب زیرزمینی نام دارد. آب زیرزمینی[2] (شکل ۲۳-۶) در مناطق مرطوب فقط از ۱ تا ۱۰ متر در زیر سطح خاک قرار گرفته اما در مناطق خشک ممکن است صدها و یا حتی هزارها متر عمیق باشد. در باتلاق‌ها سطح ایستابی در سطح خاک قرارگرفته است.

منطقه‌ی غیراشباع برروی سطح آب زیرزمینی، منطقه‌ی خشکه[3] (شکل ۲۳-۶ و شکل ۲٤-۶) نامیده می‌شود. منطقه‌ی خشکه ممکن است منطقه‌ی غیراشباع واقع در زیر خاکرخ را شامل گردیده، و به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای از خاک عمیق‌تر باشد. گرچه در بعضی موارد، ممکن است منطقه اشباع چنان در بالا قرار گرفته باشد که افق‌های پایین را نیز دربرگرفته و منطقه‌ی خشکه محدود به افق‌های فوقانی گردد.

آب زیرزمینی کم‌عمق آب زه‌کشی نفوذ یافته را دریافت می‌کند. بیشتر آب‌های زیرزمینی نیز به‌طور جانبی به‌داخل مواد زمین‌شناختی نفوذپذیر نشت نموده (که آب‌خوان نامیده می‌شود)[4]، و سرانجام به‌داخل چشمه‌ها و یا رودخانه‌ها تخلیه می‌گردند. آب زیرزمینی ممکن است به وسیله‌ی پمپاژ برای مصارف خانگی و آبیاری خارج گردد. سطح ایستابی ممکن است در ارتباط با تعادل بین مقدار آب زه‌کشی وارد شده از خاک و میزان خارج شده به‌وسیله‌ی آب‌کشی(پمپاژ) و یا نشت طبیعی به رودخانه‌ها و چشمه‌ها نوسان داشته باشد (به بالا و پایین حرکت کند). در مناطق معتدل مرطوب سطح ایستابی در اول بهار به‌دنبال بارندگی‌های زمستانه و ذوب برف قبل از این‌که تبخیر و تعرق شروع به تخلیه‌ی آب ذخیره شده کند در بالاترین حد می‌باشد.

منابع آب زیرزمینی

آب زیرزمینی منبع مهمی از آب برای مصارف خانگی، صنعتی و کشاورزی می‌باشد. برای نمونه حدود ۲۰ درصد آب مصرف شده در کشور آمریکا از منابع زیرزمینی بدست می‌آید، و حدود ۵۰ درصد مردم از آب زیرزمینی برای رفع بعضی از نیازهای خود استفاده می‌کنند. آب‌خوان‌های کم‌عمق که سالانه ذخیره‌ی آن‌ها تجدید می‌شود آب لازم را برای مزارع و منازل روستایی فراهم می‌آورد (شکل ۲۳-۶). ذخایر آب زیرزمینی بزرگ‌تر در آب‌خوان‌های عمیق‌تر که برای تجدید ذخیره‌ی آن‌ها ده‌ها سال و یا قرن‌ها وقت لازم است معمولاً برای رفع نیازهای شهری، صنعتی و آبیاری پمپاژ می‌شوند. در بسیاری از موارد چاه‌های عمیق برای استخراج آب از آب‌خوان‌های محدود شده در بین لایه‌های غیرقابل‌نفوذ (لایه فاقدآب[5]) مورد استفاده می‌باشد. وقتی آب‌خوان در سطح آشکار شود آب آن عمدتاً به وسیله نشت افقی آرام از مناطق تغذیه[6] مجاور دوباره ذخیره می‌شود.

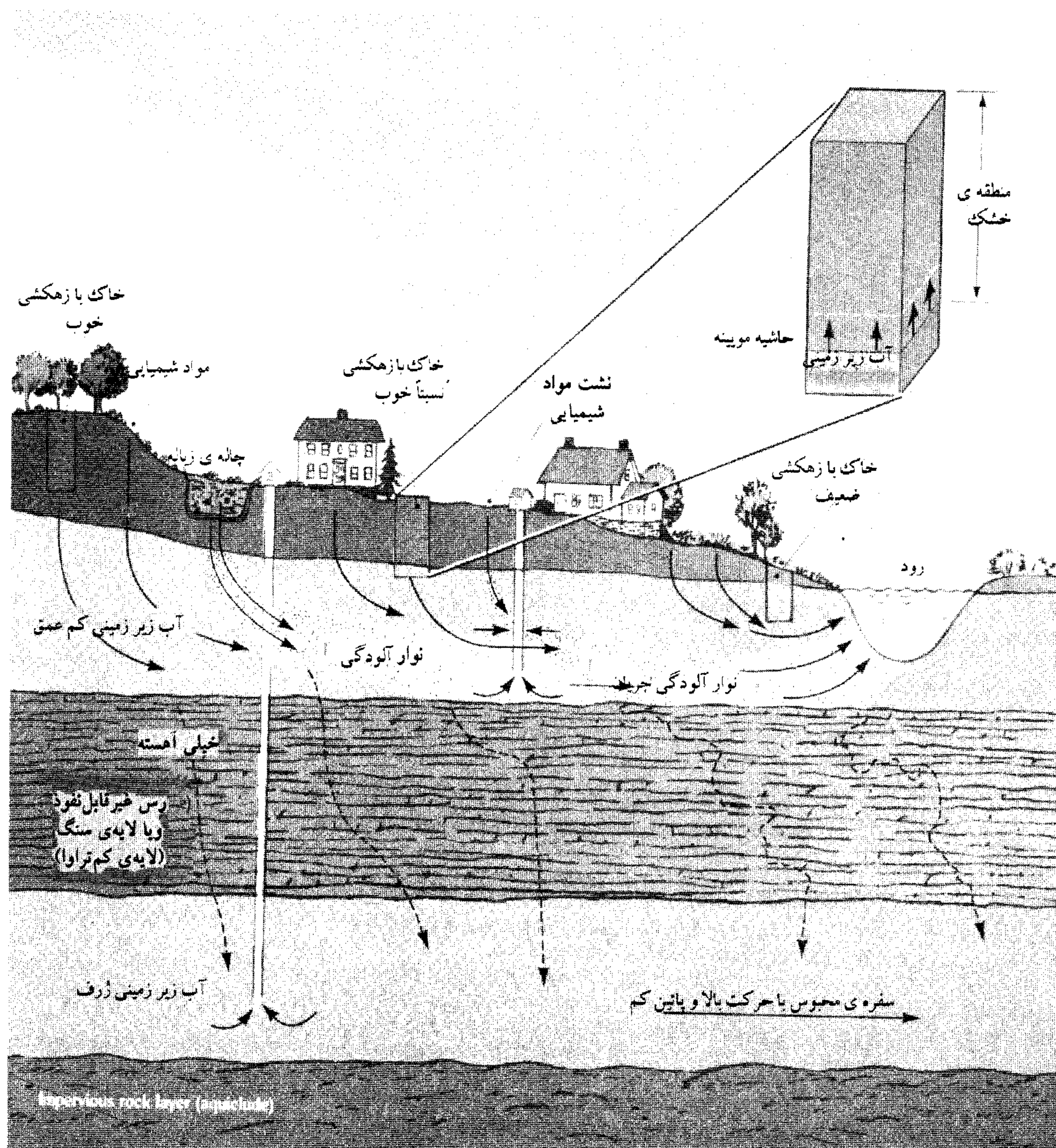
اهمیت منطقه‌ای آب‌خوان‌های زیرزمینی به‌وسیله‌ی آب‌خوان اوگالالا[7] که در زیر بخش عمده‌ای از دشت‌های بزرگ آمریکا[8] قرار گرفته است قابل تشریح است. این آب‌خوان سبب گشته است آب کافی (موقتاً؟) برای تغییر اقتصاد متکی به مراتع پرورش گاو و زراعت دیم منطقه به کشاورزی پرتولید آبی فراهم شود، با همین مشابهت، مناطق عمده‌ی سان‌آنتونیو[9] و استین[10] وابسته به آب‌خوان ادوارد[11] و آب آن در جنوب تگزاس مرکزی می‌باشند.

آب زه‌کش شده از خاک منبع عمده‌ی تغذیه‌ی بیشتر منابع آب زیرزمینی است. تا مادامی‌که آب سریع‌تر از آن‌چه فرونشست امکان جبران آن را داشته باشد تخلیه نگردد آب زیرزمینی یک منبع قابل تجدید به حساب می‌آید. هرچند در بعضی مناطق آب سریع‌تر از آن‌چه قابل جبران است تخلیه می‌گردد، فعالیتی که سبب پایین رفتن سطح ایستابی و تخلیه منابع درست شبیه استخراج کانی‌ها از معادن می‌شود. میزان پمپاژ این آب‌خوان‌های فاقد مدیریت و یا با مدیریت ضعیف ۲تا ۲۰۰ بار بیشتر از میزان تغذیه‌ی آن‌هاست. در آب‌خوان‌های عمیق،

---

1 -Water table
2 -Ground water
3 -Vadose
4 -Aqiufers
5 - Aquiclude
6 - Recharge area
7 - Ogallala
8 - Great plain
9 - Son antonio
10 - Austin
11 - Edward

مانند اوگالالا، آبی که هزاران سال قبل به پایین نفوذه کرده است بسیار سریع‌تر از آن‌چه تغذیه گردد خارج می‌شود. نهایتاً این سطح ایستابی پایین رفته و آب‌خوان بالاخره و به‌طور کلی از تامین آب باز می‌ماند.



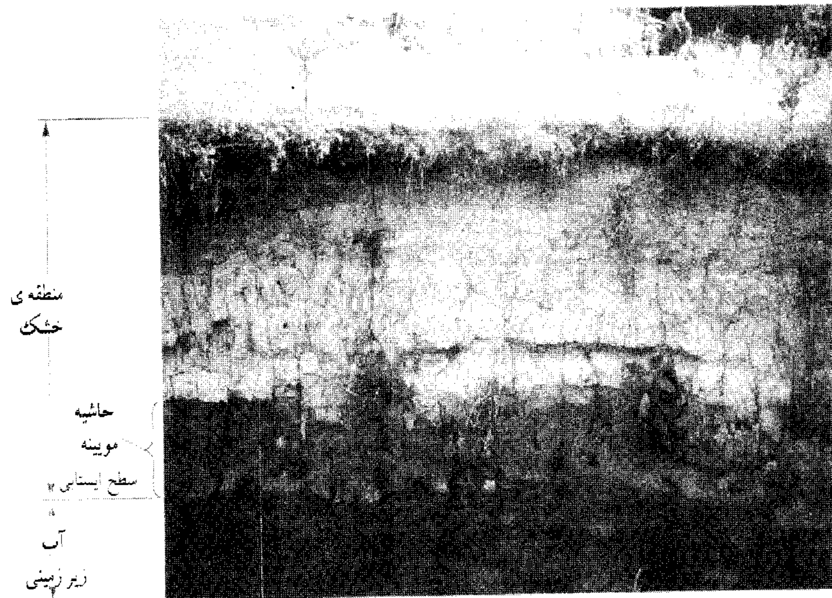
شکل ۲۳-۶ رابطه‌ی سطح ایستابی و آب زیرزمینی با حرکت آب به‌داخل خاک و یا خارج از آن. آب آبیاری و بارندگی براثر نیروی ثقل از خاک رو به پایین حرکت می‌کند (آب ثقلی) و نهایتاً به سطح ایستابی و آب زیرزمینی کم‌عمق زیر آن می‌رسد. منطقه‌ی غیراشباع در بالای سطح ایستابی منطقه خشک نامید می‌شود. وقتی آب براثر تبخیروتعرق از خاک خارج می‌شود، آب زیرزمینی به‌وسیله‌ی نیروی موینه از سطح ایستابی به بالا حرکت می‌کند که به آن حاشیه موینه[1] گفته می‌شود. آب زیرزمینی به‌طور افقی در جهت شیب اراضی به رودخانه‌ی نزدیک حرکت نموده و مواد شیمیایی آبشویی شده از خاک، از جمله عناصر غذایی اصلی (ازت، فسفر، کلسیم و غیره)، و همچنین آفت‌کش‌ها و سایر آلاینده‌های حاصل از فضولات شهری، صنعتی و کشاورزی را با خود حمل می‌کند. آب زیرزمینی منبع عمده آب برای چاه‌ها می‌باشد. چاه‌های کم‌عمق آب زیرزمینی را از نزدیک سطح و چاه‌های عمیق منابع عمیق و گسترده آب زیرزمینی را تخلیه می‌کنند. ۲ نوار آلاینده در شکل نشان داده شده یکی از شیرابه‌های حاصل از چاله‌های دفع زباله سرچشمه گرفته و دیگری از نشت مواد شیمیایی، به‌نظر می‌رسد اولی در آلودگی چاه‌های کم‌عمق مؤثر است.

[1] - Capillary fringe

هنگامی‌که آب‌خوان ساحلی خارج از ظرفیت پمپاژ صورت می‌گیرد، مسأله‌ی دیگری رخ می‌دهد. وقتی آب شیرین سریع‌تر از میزان نفوذ و نشت آب شیرین پمپاژ شود، آب دریا تحت فشار راه خود را به‌داخل آب‌خوان باز می‌کند، فرایندی که به آن نشت آب نمک[1] (در شکل ۲-۶ تشریح شده است) گفته می‌شود. به‌زودی چاه‌های عمیق شهری به جای آب شیرین آب شور را خارج می‌کنند.

آب‌های زیرزمینی کم‌عمق

آب زیرزمینی در نزدیک سطح می‌تواند به‌عنوان یک منبع ذخیره رفت و برگشتی آب برای خاک عمل کند. با خارج‌ساختن آب از خاک به‌وسیله‌ی گیاهان آب می‌تواند براثر حرکت مویینه رو به بالا از سطح ایستابی کم‌عمق جایگزین گردد. این منطقه که به‌وسیله‌ی حرکت آب مویینه مرطوب می‌شود به حاشیه مویینه مشهور است (شکل ۲۴-۶). این حرکت می‌تواند یک منبع مداوم و قابل توجه از آب عرضه کند که می‌تواند گیاهان را قادر می‌سازد تا ماه‌ها با بارندگی اندک زنده باقی بمانند[2].



شکل ۲۴-۶ سطح ایستابی، حاشیه مویینه. منطقه‌ی غیراشباع در بالای سطح ایستابی (منطقه‌ی خشکه) و آب زیرزمینی در این عکس تشریح شده‌اند. آب زیرزمینی می‌تواند آب قابل توجهی را برای جذب گیاهان فراهم کند.

حرکت مواد شیمیایی در آب زه‌کشی

فرونشست آب از خاک به سطح ایستابی نه‌تنها سبب تغذیه آب زیرزمینی می‌گردد، بلکه سبب انحلال و انتقال مواد شیمیایی آلی و معدنی موجود در خاک و یا در سطح آن طرف به پایین می‌شود. مواد شیمیایی آبشویی‌شده از خاک به آب زیرزمینی (نهایتاً به جویبارها و رودخانه‌ها) شامل عناصر حاصل از هوادیدگی کانیها، ترکیبات طبیعی آلی حاصل از تجزیه پس‌ماندهای گیاهی، عناصر غذایی حاصل از منابع طبیعی و یا انسانی و مواد شیمیایی مصنوعی متنوع (که خواسته و یا ناخواسته در خاک استعمال می‌شوند) می‌باشد. در مورد عناصر غذایی گیاهی به‌خصوص ازت، حرکت روبه‌پایین از داخل خاک به‌داخل آب‌های تحت‌الارضی زیرین دارای دو جنبه‌ی عملی مهم می‌باشد: اول آبشویی این مواد شیمیایی بیانگر تخلیه‌ی منابع غذایی از منطقه ریشه نبات است (بخش ۲-۱۶ را مشاهده کنید)، و دوم تراکم این عناصر غذایی در استخرها، دریاچه‌ها، مخازن و سطوح ایستابی پایین‌تر ممکن است سبب تقویت فرایند غنی‌شدن گردد[3] که نهایتاً سبب تخلیه میزان اکسیژن شده و اثرات مصیبت باری بر ماهی و سایر آبزیان دارد (بخش ۲-۱۴ را مطالعه کنید). همچنین، در بعضی مناطق منابع زیرزمینی آب آشامیدنی ممکن‌است دراثر نیترات اضافی در سطوحی که برای مصرف انسان ناسالم است دچار آلودگی گردد(بخش۸-۱۳ رامشاهده‌کنید). نکته قابل‌توجه بیشتر، آلودگی آب زیرزمینی با ترکیبات مصنوعی بسیار سمی مانند آفت‌کش‌ها و مواد حاصل از تجزیه‌ی آن‌ها، و یا مواد شیمیایی حاصل از مناطق دفع زباله است(فصل ۱۸ را برای بحث در جزییات این خطرات آلودگی مطالعه کنید). شکل ۲۳-۶ تشریح می‌کند که چگونه آب زیرزمینی به‌وسیله‌ی این مواد شیمیایی آلوده می‌شود، و چگونه یک نوار آلودگی به چاه‌ها و منابع آب زیرین گسترش می‌یابد.

---

[1] - Salt water Intrusion

[2] - درصورت نمک‌داربودن آب زیرزمینی، صعود مویینه از سفره آب زیرزمینی کم عمق میتواند سبب عرضه‌ی مداوم نمک‌ها در سطح گردد.

[3] - Eutrophication

حرکت مواد شیمیایی از داخل منافذ درشت

مطالعه‌ی حرکت مواد شیمیایی در داخل خاک‌ها، و از خاک‌ها به آب زیرزمینی و منابع پایاب، سبب جلب توجه به نقش حیاتی ایفا شده به‌وسیله‌ی منافذ درشت خاک در تعیین هدایت آبی مزرعه (بخش ۵-۵ را مشاهده کنید) گردیده است. طرز قرار گرفتن منافذ در اکثر خاک‌ها غیریکنواخت است. ریشه‌راه‌های قدیمی، حفرات کرم‌های خاکی و ترک‌های ناشی از انقباض رس سبب می‌شود که منافذ درشت مسیرهایی برای جریان سریع آب از سطح خاک تا عمق ۱ متر و بیشتر فراهم کنند.

وقتی مواد شیمیایی به زیر منطقه‌ی دارای بیشترین مقدار ریشه و فعالیت میکروبی انتقال می‌یابند، بعید به‌نظر می‌رسد که قبل از رسیدن به آب زیرزمینی از بین رفته و یا تجزیه گردند. این بدان‌معنی است که مواد شیمیایی که به‌طور معمول در داخل خاک به‌وسیله‌ی ریز جانداران خاک تجزیه می‌شوند در طول چند هفته قبل از این‌که مورد تجزیه قرار گیرند از طریق منافذ درشت به‌طرف پایین و آب زیرزمینی حرکت می‌کنند.

جریان کنارگذر(ترجیحی)[1] : در بعضی موارد آبشویی مواد شیمیایی صرفاً اگر در سطح خاک توزیع یابند بسیار مهم است. همانطورکه در شکل ۲۵-۶ نشان داده شده است، ممکن است مواد شیمیایی از سطح خاک به‌داخل منافذ درشت آبشویی شده و از آن طریق می‌توانند به سرعت به‌طرف پایین حرکت کنند. برپایه تحقیقات انجام‌شده، که اکثر آبی که از طریق منافذ درشت جریان می‌یابد در تماس با توده خاک قرار نمی‌گیرند. این جریان بعضی مواقع جریان کنارگذر نامیده می‌شود زیرا تمایل دارد که به‌جای جریان در داخل ماتریکس خاک به سرعت از اطراف ان جریان یابد. درنتیجه اگر مواد شیمیایی با چند سانتی‌متر فوقانی خاک مخلوط شوند حرکت آن‌ها به داخل منافذ درشت کاهش یافته و آبشویی رو به پایین آن‌ها شدیداً کند می‌شود.

شدت بارندگی یا آبیاری: جریان آب و مواد شیمیایی از داخل منافذ درشت مانند شکاف‌های قایم و مسیرهای بیان شده قبلی هنگامی‌که آب با شدت زیادی براثر بارندگی و یا آبیاری مصرف گردد، بسیار چشم‌گیر خواهد بود. وقتی‌که حجم بزرگی از آب به سرعت استعمال گردد، تا حدی اشباع موضعی صورت گرفته و سبب تشدید جریان در منافذ درشت می‌شود. جدول ۶-۶ اثرات شدید بارندگی را بر روی آبشویی آفت‌کش‌های مصرف شده در چمن تورف نشان می‌دهد.

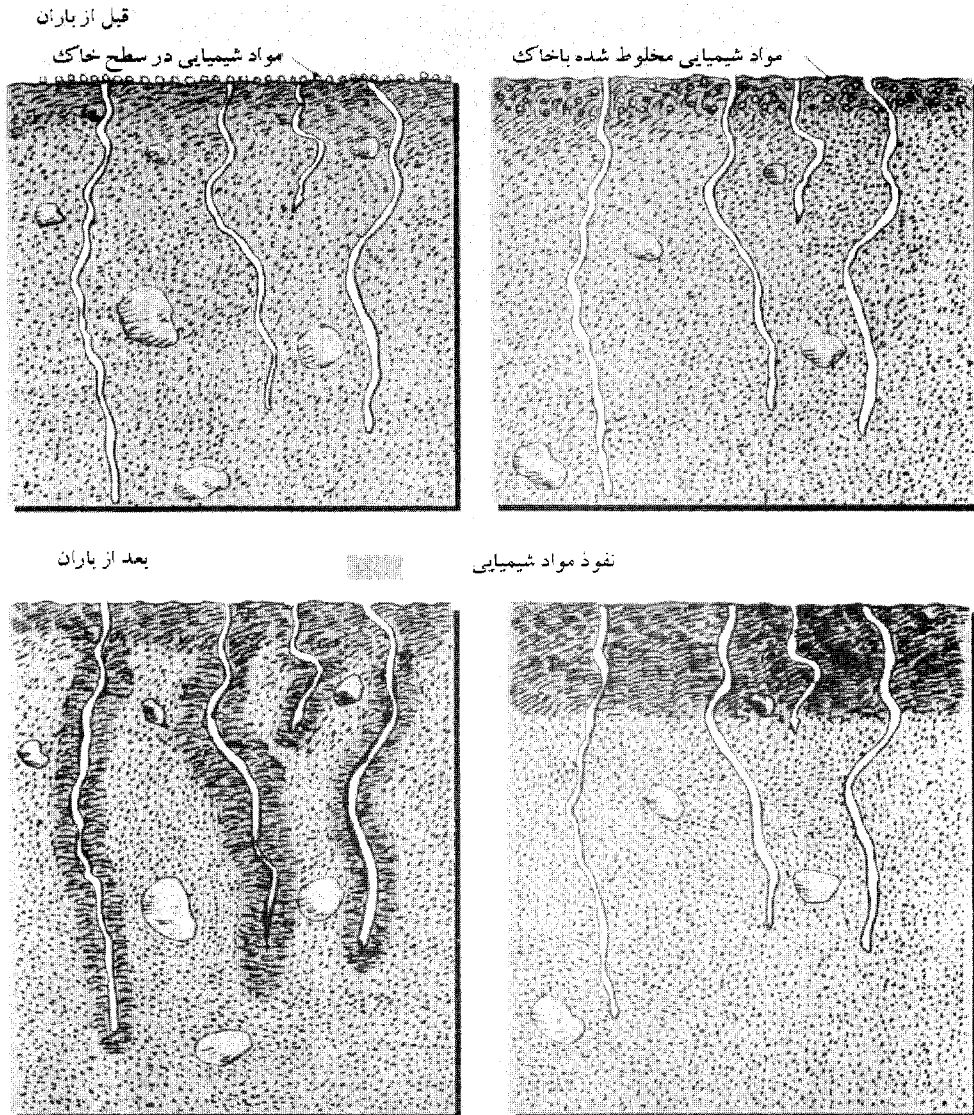
دستکاری منافذ درشت خاک و شدت آبیاری دو نمونه‌ی شاهد از تأثیر فعالیت‌های انسانی بر چگونگی کیفیت محیط زیست، که آن به‌نوبه‌ی خود می‌تواند به‌وسیله‌ی فعالیت‌های انسان که در چرخه آبی مؤثر است، می‌باشد. برهمین منوال ما، اقداماتی را که باید به‌عمل آورد تا در نفوذ آب به‌داخل خاک و تولید بیشینه‌ی مقدار تولید زیتوده گیاهی از آب ذخیره شده در خاک مؤثر باشد مورد ملاحظه قرار داده‌ایم. اگر سه اقدام دیگر به‌شرح زیر در تغییر چرخه آبی به‌طور مجمل مورد ملاحظه قرار نگیرد، تصویر کامل نخواهد بود.

۱- استفاده از زه‌کشی مصنوعی برای ارتقاء فرونشست آب اضافی از بعضی خاک‌ها ؛ ۲- استعمال پساب‌ها در خاک به‌عنوان محیطی برای دفع فاضلاب ۳- استفاده از آبیاری برای تأمین آب مورد نیاز رشد گیاهی ابتدا زه‌کشی مصنوعی را مورد توجه قرار خواهیم داد.

جدول ۶-۶ تاثیر شدت استعمال آب برروی آبشویی آفت‌کش‌ها درداخل خاک مولی‌سول تحت پوشش چمن، آزمایش برروی ستون‌های خاک دست نخورده با قطر ۲۰ سانتی‌متر باساختمان طبیعی که شامل حفرات کرم‌ها بود انجام گرفت تمام ستون‌های خاک ۲/۵۴سانتی‌متر باران مصنوعی درطول هفته و برای ٤ هفته دریافت داشتند. درحالی‌که در بارندگی شدید در٤ نوبت، هر نوبت ۲/۵۴ سانتی‌متر مصرف شد، باران سبک در ۱٦ نوبت با فواصل زمانی مساوی هر نوبت با شدت ٦٤ /۰ سانتی‌متر مصرف گردید. متالاکسیل درمقایسه با ایزازفوس در آب بسیار محلول‌تر است. اما در هر مورد باران شبیه سازی شده شدید سبب آبشویی آفت‌کش بیشتری از داخل منافذ درشت خاک گردید.

آفت‌کش	آفت‌کش آبشویی شده به‌صورت درصدی که در سطح مصرف گردیده است	
	باران سنگین	باران سبک
ایزازفوس	۸/۸	۳/٤
متالاکسیل	۲۳/۸	۱۳/۹

[1] - Bypass Flow



شکل ۲۵-۶ جریان ترجیحی و یا کنارگذر در منافذ درشت سبب انتقال مواد شیمیایی محلول در داخل خاکرخ به‌طرف پایین می‌گردد. وقتی مواد شیمیایی در سطح خاک قرار دارد (سمت چپ)، و بتواند در آب ماندابی سطحی[1] هنگام بارندگی حل شود. ممکن است به‌سرعت در داخل ترک‌ها، حفره‌های کرم خاکی و سایر منافذ درشت انتقال یابد. وقتی مواد شیمیایی در داخل ماتریکس خاک در لایه‌های سطحی توزیع گردد (سمت راست). اکثر آبی که از داخل منافذ به پایین حرکت می‌کند از کنار مواد شیمیایی عبور کرده و بنابراین میزان اندکی از آن‌ها به پایین انتقال خواهد یافت

۹-۶ بهبود زه‌کشی خاک

بعضی از خاک‌ها مستعدند که در بخش فوقانی خاکرخ برای مدت‌های طولانی برخی و یا تمام سال از آب اشباع باشند. اشباع طولانی ممکن است به‌خاطر موقعیت پست اراضی باشد که خاک در آن قرار گرفته است، به‌طوری‌که سطح ایستابی ناحیه‌ای برای مدت‌های مدید در سطح و یا در نزدیکی سطح خاک قرار داشته باشد. در دیگر خاک‌ها آب ممکن است در بالای یک لایه‌ی غیرقابل‌نفوذ در خاکرخ تجمع یافته و یک سطح ایستابی آویزان[2] را ایجاد کند (شکل ۲۶-۶) خاک‌ها در هر دو نوع اشباع ممکن است ایجاد اراضی ماندابی (بخش ۸-۷ را مشاهده کنید) را بکنند که یک زیست‌بوم انتقالی در بین اراضی و آب باشد.

[1] - Surfac ponded water
[2] - Perched water table

دلایل ارتقای زه‌کشی خاک

شرایط اشباع آب و تهویه ضعیف خاک برای ایفای نقش معمول زیست بوم‌های اراضی ماندابی و بقای بسیاری از گونه‌های گیاهی آن اراضی اساسی می‌باشد، هرچند برای اکثر کاربری‌های دیگر این شرایط خود خسارت آشکار است.

مسایل مهندسی: در طول ایجاد سازه، گلی‌بودن و مقاومت اندک تحمل بار در خاک اشباع برای کار ماشین‌آلات بسیار مشکل است (بخش ۹-٤ را مشاهد کنید). ساختمان‌های ایجاد شده برروی خاک‌های دارای زه‌کشی ضعیف ممکن است مواجه با نشست و آب‌گیری غیریکنواخت سردابه‌ها درطول ایام مرطوب گردد. به‌طورمشابه، یک سطح ایستابی بالا سبب صعود مویینه آب به‌داخل بستر جاده‌ها و اطراف پی‌ها و پایین‌آمدن مقاومت خاک و بروز خسارت‌های ناشی از ورایش درصورت یخ زدن آب در زمستان شود. حرکت کامیون‌های سنگینی که بر روی یک جاده‌ی آسفالته که در زیر آن سطح ایستابی کم‌عمق قرار گرفته است سبب ایجاد چالاب، و نهایتاً خراب‌شدن جاده می‌شود.

تولید گیاهی: در خاک‌های اشباع تولید اکثر زراعت‌ها و گونه‌های جنگلی اگر غیرممکن نباشد مشکل است. اشباع طولانی انجام عملیات را در زمان مناسب مشکل می‌سازد، زیرا تراکتور و دیگر تجهیزات مورد استفاده برای عملیات کاشت، شخم و شیار و برداشت سبب ایجاد شیارهای عمیق گردیده و به‌طور مکرر در باتلاق فرو می‌روند. حتی درصورت استقرار یک زراعت و یا جنگل شرایط تهویه نامناسب سبب توقف رشد آن‌ها می‌شود، زیرا ریشه اکثر گیاهان به‌استثنای چند گونه‌ی سازگار (درختان کاج عریان، برنج و نی) نیاز به خاک دارای تهویه مناسب برای تنفس می‌باشند. (بخش ۲-۷ را مشاهده کنید). به‌علاوه، سطح ایستابی سطحی در ابتدای فصل رشد سبب محدودکردن ریشه‌ها در یک لایه کم‌عمق خاک با تهویه ضعیف می‌گردد. نظام ریشه محدود شده در فصول بعدی وقتی هوا خشک‌تر شد و سطح ایستابی به‌سرعت پایین افتاد با تنش آب مواجه می‌گردد (شکل ۲۷-٦).

به این دلیل و یا دلایل دیگر شبکه‌های زه‌کشی مصنوعی برای آب اضافی (آب ثقلی)، و پایین‌آوردن سطح ایستابی در خاک با زه‌کشی ضعیف به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. زه‌کشی در اراضی مورد نظر تقریباً در تمام اقالیم انجام گرفته است، اما عمدتاً در بیشترین موارد برای ارتقاء توان تولیدات کشاورزی در خاک‌های رسی ته‌نشستی و دریاچه‌ای مورد استفاده بوده است. شبکه‌های زه‌کشی یکی از اجزاء حیاتی نظام‌های آبیاری مناطق خشک است (اگر چه در بعضی موارد مسامحه شده است) که برای حذف نمک‌های اضافی و جلوگیری از باتلاقی‌شدن مورد استفاده می‌باشند.

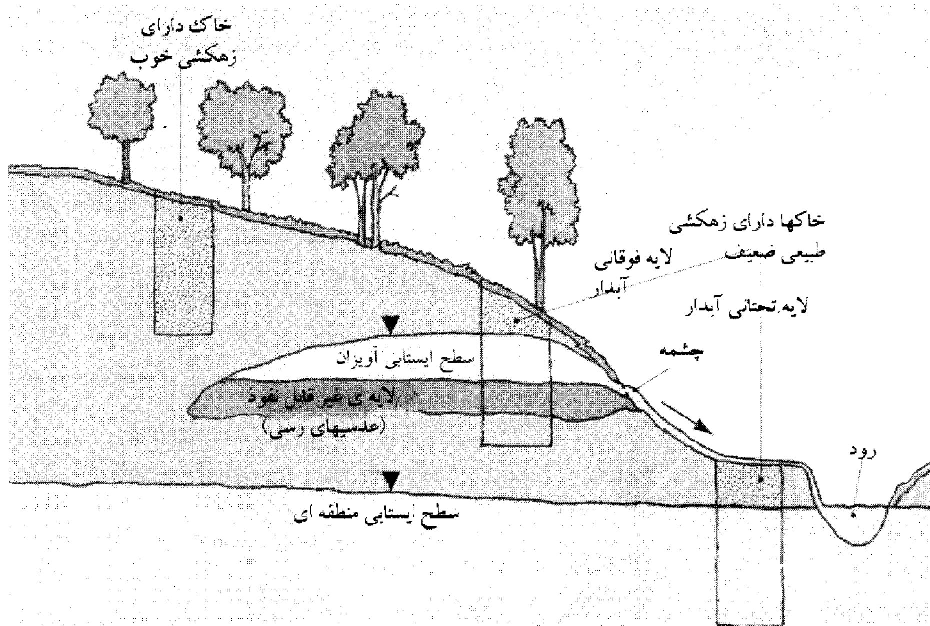
زه‌کشی مصنوعی سبب تغییر عمده در نظام اراضی می‌شود. فهرست زیرین از منافع بالقوه و اثرات زیان‌آور باید به‌دقت مورد ملاحظه قرار گیرد. همچنین توجه داشته باشید در بسیاری از موارد در قوانین حفاظت اراضی مرطوب، کسب اجاره مخصوص برای نصب شبکه‌های زه‌کشی جدید ضروری می‌باشد.

مزایای زه‌کشی مصنوعی

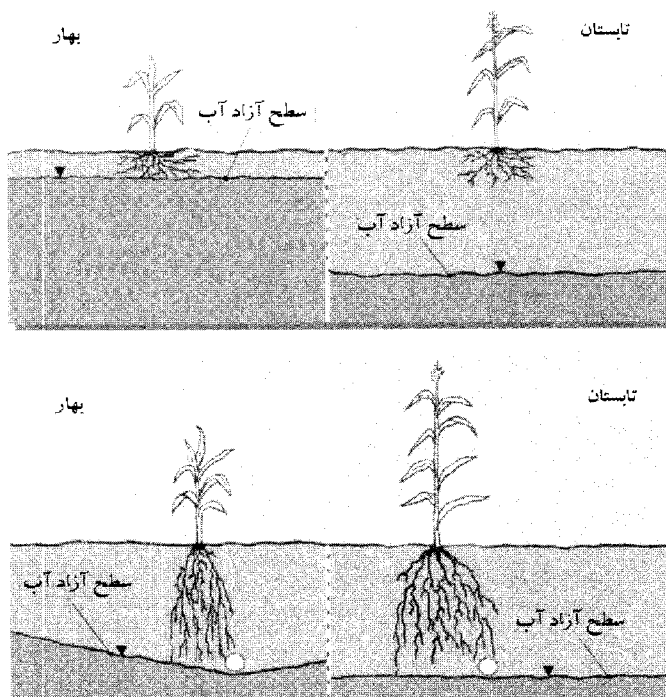
۱- افزایش مقاومت فشاری و قابلیت کار خاک، که امکان انجام عملیات بموقع صحرایی و دست‌یابی بیشتر به تردد ماشین‌آلات و یا پیاده‌روی (در امکانات تفریحی) را فراهم می‌سازد ۲- کاهش ورایش ناشی از یخ بندان پی‌ها، پیاده‌روها و گیاهان زراعی (شکل ۱۹-۷ را مشاهده کند) ۳- ارتقای عمق انتشار رشد ریشه و توان تولید اکثر نباتات مناطق مرتفع به‌علت تامین بهتر اکسیژن و سمیت کمتر منگنر و آهن در خاک‌های اسیدی (بخش ٤-۷ و ٦-۷ را مشاهد کنید). ٤- کاهش میزان آلودگی قارچی در بذرها و نباتات جوان ٥- گرم‌شدن سریع‌تر خاک در بهار که سبب رسیدن زودتر محصول می‌شود (بخش ۱۲-۷ را مطالعه کنید). ٦- تولید کمتر متان و گازهای ازت که سبب خسارت زیست‌محیطی در مقیاس جهانی می‌شود. (بخش ۱۱-۱۲ و ۹-۱۳ را مشاهده کنید). ۷- خارج‌ساختن نمک‌های اضافی از خاک‌های تحت آبیاری و جلوگیری از تراکم نمک در اثر صعود مویینه در مناطق دارای آب تحت‌الارضی شور (بخش ۳-۱۰ را مشاهده کنید).

اثرات زیان‌بار زه‌کشی مصنوعی

۱- کاهش سکونت‌گاه‌های حیات وحش، به‌خصوص محل‌های جفت‌گیری و زمستان‌گذرانی پرندگان آبزی، ۲- کاهش هضم عناصر غذایی و سایر نقش‌های زیست‌شیمی اراضی مرطوب (بخش ۸-۷ را مشاهده کنید). ۳- افزایش آبشویی نیترات‌ها و سایر آلاینده‌ها به آب زیرزمینی ٤- هدررفت سریع ماده‌ی آلی که سبب فرو نشست برخی خاک‌ها می‌شود (بخش‌های ۱۰-۱۲، ۱۲-۱۲). ٥- افزایش شدت و تکرار سیلگیری به‌دلیل هدررفت ظرفیت نگهداری آب. ٦- هزینه بیشتر خسارات وقتی است که سیلگیری در خاک‌های ته‌نشستی اصلاح شده به‌دنبال زه‌کشی رخ می‌دهد. شبکه‌های زه‌کشی مصنوعی برای انجام دو نوع زه‌کشی عمومی ۱- زه‌کش سطحی ۲- زه‌کشی زیرزمینی طراحی شده‌اند که هرکدام مختصراً تشریح خواهند شد.



شکل ۲۶-۶ مقطع عرضی چشم‌انداز اراضی که نشان‌دهنده سطح ایستابی منطقه‌ای و آویزان در ارتباط با سه نوع خاک می‌باشد. یکی دارای زه‌کش خوب و دو خاک دیگر با زه‌کش داخلی ضعیف. طبق قرار داد یک مثلث (▼) برای تعیین سطح ایستابی به کار می‌رود. خاکی که دارای سطح ایستابی آویزان می‌باشد در بخش فوقانی مرطوب بوده اما بعد از لایه غیرقابل‌نفوذ غیراشباع می‌باشد و به آن اپی‌کواتیک[1] (لایه فوقانی آب‌دار) گفته می‌شود. (در لاتین اپی به‌معنی بالا است). درحالی خاکی که براثر آب زیرزمینی منطقه‌ای اشباع می‌شود. اندواکواتیک[2] (لایه تحتانی آب‌دار) گفته می‌شود (در لاتین اندو به‌معنی زیر است) زه‌کشی مصنوعی کمک می‌کند که هر دو سطح ایستابی پایین بروند.



شکل ۲۷-۶ تشریح سطح ایستابی در اراضی فاقد زه‌کشی و در اراضی دارای زه‌کشی تنبوشه‌ای در بهار و تابستان. مزایای زه‌کشی شامل رشد شدید زود هنگام و همین‌طور نظام گسترده‌تر ریشه است که قادر می‌باشد هنگام خشک‌شدن خاکرخ حجم بیشتری از خاک را برای کسب آب مورد بهره‌برداری قرار دهد.

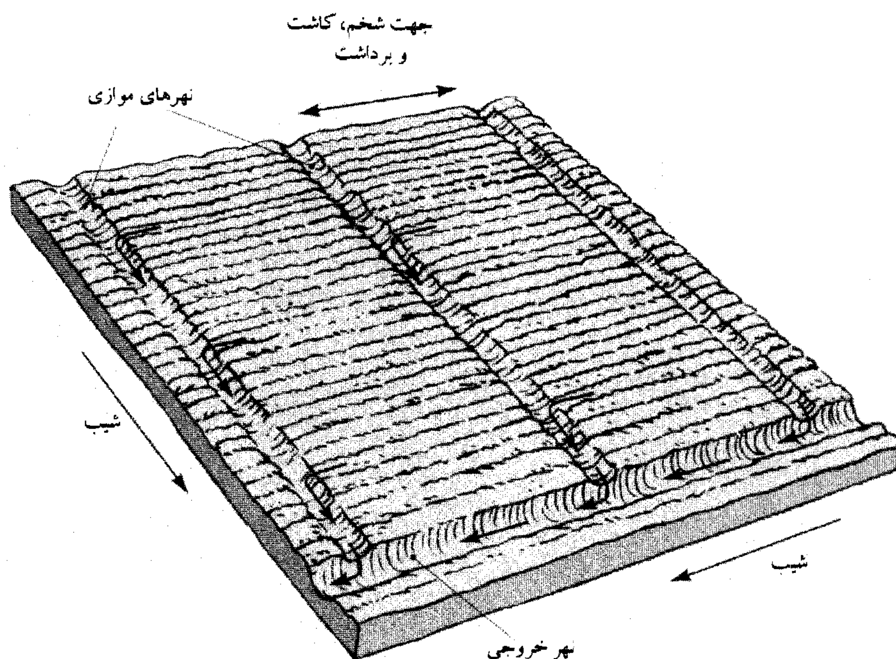
1 - Epiaquatic
2 - Endoaquatic

شبکه‌های زه‌کشی سطحی

این نوع زه‌کش به‌طور گسترده‌ای به‌خصوص در اراضی تقریباً مسطح و خاک‌های دارای بافت ریز با زه‌کشی داخلی(فرونشست) کند مورد استفاده می‌باشد هدف این نظام هدایت آب به بیرون اراضی قبل از نفوذ آن به‌داخل خاک است

نهرهای زه‌کشی سطحی: بیشتر نظام‌های زه‌کشی سطحی سبب تسریع در رواناب سطحی با ایجاد نهرهای کم‌عمق با شیب آرام جانبی می‌گردد که در تردد تجهیزات نیز مزاحمتی ایجاد نمی‌کند. اگر زمین دارای شیب باشد نهرهای کم‌عمق در عرض شیب و عمود بر کشت‌وکار انجام می‌گیرد بنابراین سبب هدایت آب درهنگام جریان آن به سمت پایین می‌شود (شکل ۲۸-۶) این نهرها می‌توانند با ادوات ساده با قیمت اندک ایجاد گردند. برای جمع‌آوری آب سطحی از چمن‌کاری‌های طراحی شده این نظام زه‌کشی می‌تواند به‌وسیله‌ی ایجاد ناهمواری‌ها[1] به جای نهرها تغییر یابد.

طراحی اراضی: نهرهای زه‌کشی سطحی اغلب با طراحی اراضی و یا هموارنمودن[2] برای رفع ماندابی‌بودن و سهولت برداشت رواناب همراه است (شکل ۲۹-۶). با استفاده از تجهیزات دقیق تسطیح که به‌وسیله‌ی لیزر هدایت می‌شود، برجستگی‌های کوچک تراشیده شده و گودی‌ها پر می‌شوند. اراضی تسطیح شده‌ی حاصل امکان حرکت آب اضافی را در یک میزان تنظیم‌شده در سطح خاک به‌داخل نهر خروجی، سپس به آبراهه‌ی زه‌کشی طبیعی فراهم می‌سازند. هموارکردن اراضی همچنین معمولاً برای آماده‌کردن مزارع برای آبیاری سیلابی انجام می‌گیرد (بخش ۱۱-۶ را مشاهده کنید).



شکل ۲۸-۶ نمونه‌ای از یک نظام زه‌کشی نهر روباز برای انجام زه‌کشی سطحی در یک مزرعه با شیب آرام

زه‌کشی زیرزمینی (داخلی)

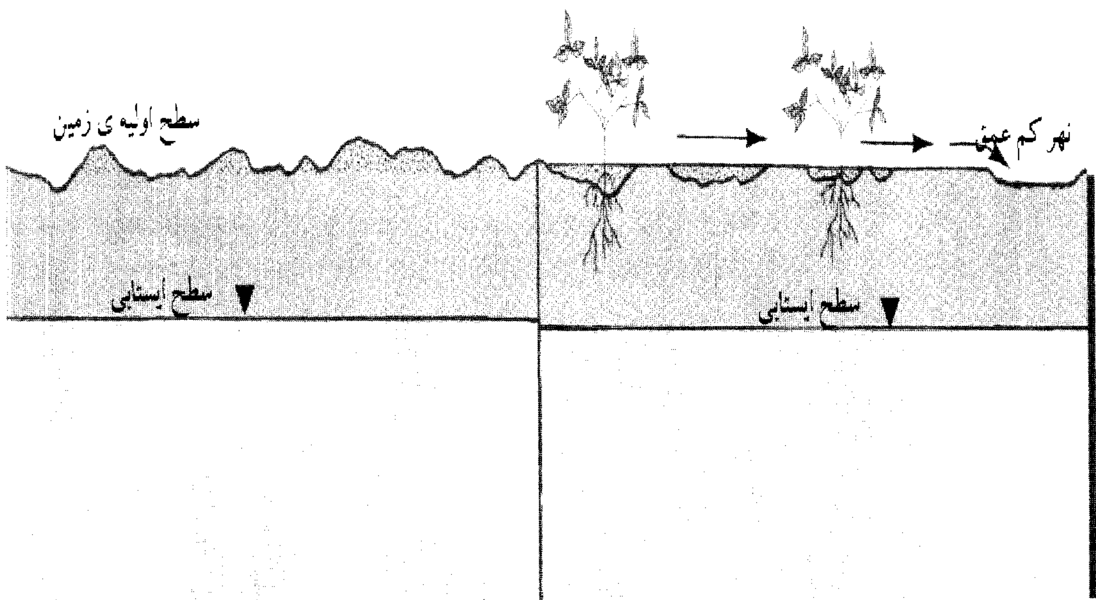
هنگامی‌که میزان آب ورودی (معمولاً باران و یا آبیاری درسطح خاک به‌طرف پایین به‌طور عمقی نفوذ می‌کند) از میزان حرکت آب زیرزمینی به خارج از منطقه پیشی گیرد سطح ایستابی بالا می‌آید. بنابراین هدف نظام زه‌کشی زیرزمینی عرضه‌ی مجموعه‌ای از منافذ خیلی درشت و یا گذرگاه‌هایی است که به‌طور گسترده‌ای میزان حرکت آب زیرزمینی را افزایش دهد و درنتیجه سبب پایین‌افتادن سطح ایستابی گردد.

---

[1] - Swales
[2] -Smoothing

طراحی یک نظام زه‌کشی باید با این اصل اساسی سازگار باشد که آب به نقطه‌ای که سطح انرژی آن پایین است حرکت می‌کند، و این بدان‌معنی است آب وقتی به داخل یک لوله و یا نهر که پتانسیل آن اساساً صفر است حرکت می‌کند که تحت فشار مثبت باشد ($\psi \geq 0$) (به‌خاطر جمع مثبت پتانسیل ثقلی و غوطه‌وری). بنابراین زه‌کشی داخلی فقط وقتی صورت می‌گیرد که گذرگاه برای زه‌کشی در زیر سطح ایستابی (شکل ۳۰-۶) قرار گرفته باشد. وقتی‌که کف نهر و یا لوله درمنطقه مرطوب اما غیراشباع قرارگرفته باشد آبی برداشت نخواهد شد زیرا جز ماتریک در این خاک دارای پتانسیل منفی است($\psi < 0$). جریان آب در خاک اشباع به داخل یک خروجی زه‌کشی در شکل ۳۱-۶ تشریح شده است. تابلو ۱-۶ نمونه‌ای ارائه می‌دهد که چگونه اطلاع از خصوصیات اساسی خاک و اصول حرکت آب می‌تواند در طراحی شبکه‌ای که سبب تخفیف مسایل زه‌کشی گردد، به‌کارگرفته شود.

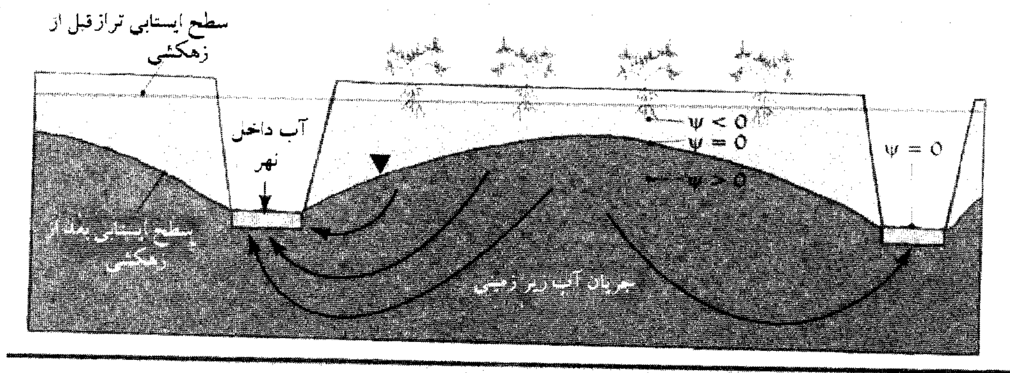
شبکه‌ی آبراهه‌های زه‌کشی در شیوه‌های مختلف بر اساس طبیعت منطقه‌ای که باید زه‌کشی شود. پیاده می‌شوند (شکل ۳۲-۶). چنان‌چه اراضی بسیار مسطح و یا پست باشند عملیات پرهزینه پمپاژ در بعضی مواقع برای حذف آب زه‌کشی مورد استفاده قرار می‌گیرد (بخش‌هایی از فلوریدا و هلند).



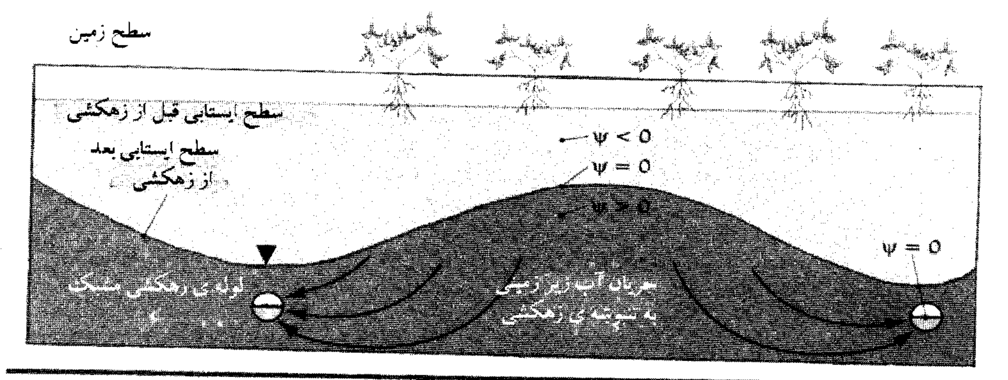
شکل ۲۹-۶ سطح اراضی قبل (سمت چپ) و بعد از طراحی و تسطیح (سمت راست). سطح اولیه خاک اصلی (سمت چپ) غیریکنواخت بوده و آب در گودی‌ها به‌صورت منداب باقی می‌ماند. بعد از تسطیح (سمت راست) دارای شیب یکنواخت بوده و آب از سطح با میزان مشخص جریان دارد تا به‌وسیله‌ی یک نهر کم‌عمق خارج گردد. توجه کنید که خاک برجستگی‌ها برای پرکردن گودی‌ها مورد استفاده می‌باشد.

زه‌کش روباز: اگر نهری تا عمق پایین‌تر از سطح ایستابی (شکل ۳۰-۶) حفر شود، آب از خاک اشباع تحت فشار مثبت به داخل نهر که پتانسیل آب عملاً در آن صفر است نشت خواهد کرد. در نهر آب دیگر لازم نیست برنیروهای اصطکاکی که سبب تأخیر مسافرت پرپیچ‌وخم آب در منافذ ریز خاک است غلبه کند، بنابراین می‌تواند به سرعت از مزرعه خارج شود. نهرهایی که از یک متر و بیشتر عمیق می‌باشند موانعی در مقابل حرکت ادوات کشاورزی ایجاد نموده و معمولاً برای خاک‌های بافت درشت، که در آن‌ها نهرها می‌توانند درفاصله زیادی از همدیگر جدا باشند به‌کار می‌روند[1]. حد فاصل نهرها بر مبنای این اصل است که در خاکی با هدایت آبی بالا، حرکت آب در نهر بسیار سریع بوده و بنابراین اثر برروی پایین‌آوردن سفره آب تا فاصله قابل‌ملاحظه‌ای از نهر تداوم خواهد داشت، نهرهای باز نیازمند نگهداری منظم برای مهار پوشش گیاهی و تراکم ته‌نشست (ته‌نشست) می‌باشد.

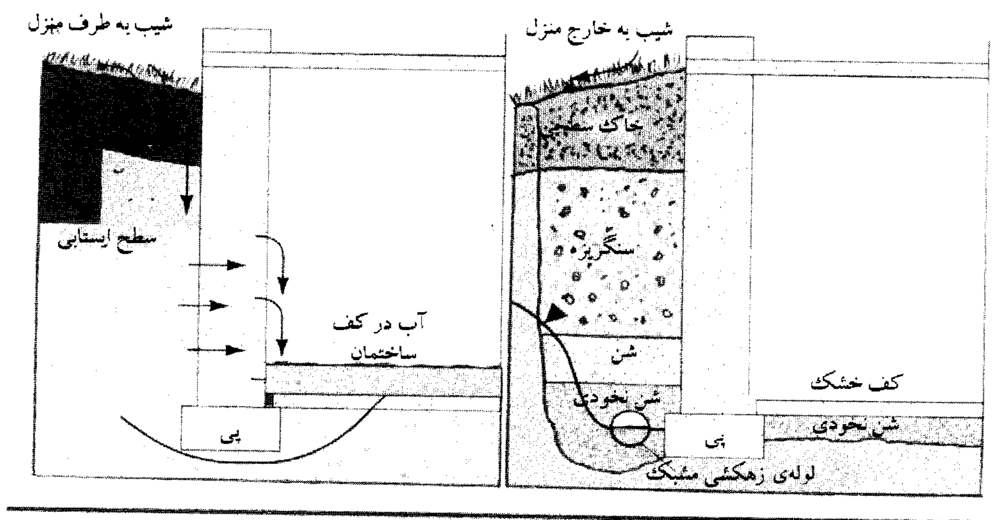
[1] – فاصله لازم برای لوله‌های زه‌کشی دفن شده و یا نهرهای روباز از ده متر در خاک‌های دارای نفوذپذیری کم تا بیشتر از صد متر در خاک‌های خیلی نفوذپذیر مانند پیت و شن متغیر است.



(الف)



(ب)

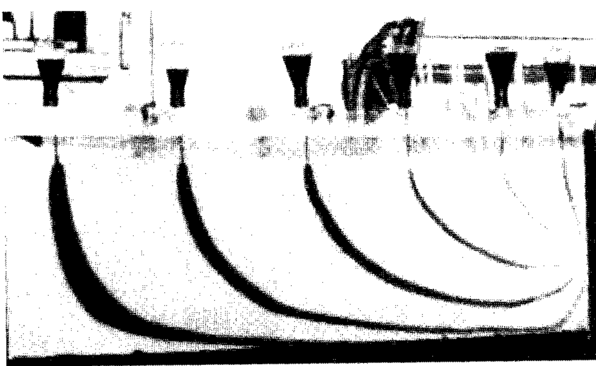


(ج)

شکل ۳۰-۶ سه نوع از شبکه‌های (نظام‌های) زه‌کشی زیرزمینی. (الف) نهرهای روباز برای پایین‌آوردن سطح ایستابی در یک خاک با زه‌کشی ناقص به‌کار می‌رود. سطح ایستابی در فصل مرطوب قبل و بعد از نصب زه‌کش نشان داده شده است. سطح ایستابی آب در مجاورت نهر عمیق‌ترین بوده، و اثر زه‌کشی با فاصله گرفتن از نهر کاهش می‌یابد. (ب)- خطوط تنبوشه‌ی دفن شده از پلاستیک مشبک بسیار شبیه نهرهای مثال (الف) کار می‌کنند، اما دارای دو مزیت می‌باشند ۱- آن‌ها بعد از نصب قابل مشاهده نیستند ۲- موانعی را برای ادوات سطحی ایجاد نمی‌کنند. به خطوط جریان که عبارتند از مسیرهای آب جاری به نهرهای زه‌کش و یا لوله‌ها در پاسخ به شیب پتانسیل بین آب در حالت استغراق $\psi > 0$ و آب آزاد نهر و یا لوله ی زه‌کش $\psi = 0$ توجه کنید (ج)سطح ایستابی در اطراف پی یک ساختمان قبل (چپ) و بعد از (راست) ایجاد زه‌کش پی و اصلاح شیب سطح زمین. اصول حرکت آب در خاک برای خشک نگه داشتن زیرزمین ساختمان قابل کاربرد است.

لوله‌های مشبک دفن‌شده[1]: (تنبوشه‌های زه‌کشی) شبکه‌ای از لوله‌های پلاستیکی مشبک می‌تواند با استفاده از ادوات خاص در خاک نصب گردد (شکل ٣٤-٦) آب از طریق منافذ وارد لوله می‌شود. قسمت مشبک و یا شیاردار باید در قسمت پایین لوله باشد تا این اجازه را به آب دهد که از داخل لوله به طرف بالا جریان یابد. (همان‌طورکه در شکل ٣١-٦ نشان داده شده). و این از گرفتگی لوله به‌وسیله‌ی ته‌نشست ممانعت می‌کند (شکل ٣٥-۶). از تراکم ته‌نشست می‌توان با ایجاد شیب مناسب در لوله ممانعت کرد (شیب ۰/۵ تا ۱درصد). بنابراین آب به نهر خروجی و یا رودخانه جریان پیدا خواهد کرد. خروجی لوله باید به وسیله‌ی دریچه و یا شبکه‌ای از سیم توری برای جلوگیری از ورود جوندگان در هوای خشک، اما با امکان جریان آزاد آب، باید پوشیده شود. یک نظام زه‌کشی زیرزمینی خوب پیاده شده می‌تواند برای سال‌ها ایفای نقش کند.

زه‌کش پی ساختمان‌ها: آب اضافی در اطراف پی ساختمان و در زیر کف اتاق‌های منازل و سایر ابنیه می‌تواند خسارات جدی ایجاد کند. حذف این آب‌های اضافی با استفاده از لوله‌های مشبک که در کنار، و اندکی در زیر پی ساختمان‌ها و یا زیر کف اتاق‌ها است قابل انجام است (شکل ٣٠-٦ ج). لوله‌های مشبک باید چنان شیبی داشته باشد که به آب امکان دهد به سرعت به یک نهر خروجی و یا فاضلاب وارد شود. اگرزه‌کش به‌طور موفقیت آمیز بتواند از صعود سطح ایستابی به بالای کف اتاق جلوگیری کند آب به زیر ساختمان نشت نخواهد کرد، به‌همان دلیل که آب در تنبوشه‌ای در بالای سطح ایستابی نصب شده باشد،نفوذ نمی‌کند.



شکل ٣١-٦ نمایش شیوه‌های جریان اشباع آب به طرف یک تنبوشه زه‌کش. آب حاوی مواد رنگی به سطح خاک اشباع اضافه شد و زه‌کشی از طریق یک تنبوشه زه‌کش شبیه‌سازی شده در منتی‌الیه سمت راست عکس امکان‌پذیر گردید.

زه‌کشی مول[2]: نظام زه‌کشی مول (لانه موشی) می‌تواند به‌وسیله‌ی کشیدن یک میله‌ی نوک تیز در عمق مورد نظر در داخل خاک که به‌دنبال آن یک توپ فولادی گلوله مانند با قطر ۱۰-۷ سانتی‌متر وصل شده است انجام شود. دیواره متراکم شده مجرای گلوله یک مسیر مشابه به لوله‌ی دفن شده برای عبور آب اضافی ایجاد می‌کند. ایجاد زه‌کشی لانه موشی کاملاً کم هزینه است، اما فقط در خاک‌های بافت ریز، که مسیر برای سال‌ها باقی می‌ماند، مناسب می‌باشد.

۱۰-٦ میدان‌های زه‌کش مخازن فاضلاب[3]

هزاران تن از مردم در حومه‌ی شهرها وقتی یک محل زیبا را برای ایجاد ساختمان‌های ویلایی، انتخاب و برنامه‌هایی برای ساختن یک خانه رویایی طرح و برای کسب مجوز پروانه ساختمان‌سازی از طریق حکومت‌های محلی اقدام می‌کنند به اهمیت حرکت آب از داخل خاک واقف می‌شوند. اگر محل ساختمان از نظام فاضلاب شهری فاصله داشته باشد، تصفیه‌ی فاضلاب خانگی برای جلوگیری از آلودگی محیطی و خطرات برای سلامتی به‌عهده مالک می‌باشد. مسؤولان محلی معمولاً تا مادامی‌که ترتیباتی برای تصفیه‌ی فاضلاب داده نشود اجازه ایجاد ساختمان را نمی‌دهند. یک خاک‌شناس برای نظارت بر خاک‌ها در محل ایجاد ساختمان حضور پیدا کرده و تناسب آن‌ها را برای میدان زه‌کش مخزن فاضلاب مورد ارزیابی قرار می‌دهد. اگر خاک قادر به ایفای این نقش نبوده و یا در بعضی از خصوصیت که بعداً در این فصل بیان می‌شود دارای نواقصی باشد اجازه‌ی ایجاد ساختمان به مالک داده نخواهد شد.

---

[1] - قبل از معمول‌شدن لوله‌های زه‌کشی مشبک در دهه‌ی ۱۹۶۰ بخش‌های کوتاهی از لوله‌های سرامیک که به‌عنوان تنبوشه شناخته می‌شدند. در امتداد یکدیگر درحالی که در فاصله بین آن‌ها منافذی برای عبور آب وجود داشت، در خاک نصب می‌شدند. واژه‌هایی مانند تنبوشه زه‌کشی ویا خطوط تنبوشه هنوز در مورد لوله‌های پلاستیکی جدید به‌کار برده می‌شود.

[2] - Mole drinage

[3] - Septic tank drain fields

بنابراین، در بسیاری از مناطق خصوصیات خاک به‌دلیل نقش آن در تصفیه‌ی فاضلاب در قیمت اراضی و توسعه مناطق مسکونی مؤثر می‌باشد. مشاورت خاک‌شناسان در جوامع صنعتی برای تعیین تناسب خاک برای میادین زه‌کشی مخزن فاضلاب احتمالاً تنها خدمات بسیار معمول قابل ارائه است. به‌علاوه، در مناطق سریع الرشد حومه‌ی شهرها مخازن فاضلاب با جایگذاری نامناسب ممکن است به‌طور قابل توجهی به آلودگی آب زیرزمینی و جویبارها منجر گردد. با توجه به این دلایل، بحث ما در مورد مدیریت عملی آب در نظام خاک بدون درنظر قراردادن نقش خاک، و به‌خصوص حرکت آب از داخل خاک برای اصلاح فاضلاب در مناطقی که نظام متمرکز مدیریت فاضلاب وجود ندارد کامل نخواهد بود.

طرز کارکرد یک سامانه مخزن فاضلاب

معمول‌ترین نحوه‌ی اصلاح فاضلاب محلی برای منازلی که در ارتباط با شبکه‌ی فاضلاب شهری نمی‌باشند مخزن فاضلاب و میادین زه‌کشی وابسته به آن می‌باشد (بعضی مواقع به آن میادین زهکشی[1] و یا میادین جذبی[2] اطلاق می‌شود). بیشتر از ۱۰ میلیون خانه در آمریکا از زه‌کشی مخازن فاضلاب و میادین زه‌کش برای اصلاح فاضلاب و پساب‌ها استفاده می‌کنند. این شیوه‌ی تصفیه‌ی فاضلاب و پساب‌ها وابسته به خصوصیات مختلف خاک بوده که آن‌ها حرکت آب در داخل خاک است.

در اصل یک میدان زه‌کش فاضلاب همانند یک شبکه‌ی زه‌کش مصنوعی، اما برعکس عمل می‌کند. شبکه‌ای از لوله‌های مشبک زیرزمینی در داخل نهرها نصب می‌شوند که بسیار شبیه شبکه لوله‌های زه‌کشی می‌باشند که برای پایین‌بردن سطح ایستابی در خاک‌های دارای زه‌کشی ضعیف مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما به‌جای زه‌کشی و خارج‌کردن آب از خاک لوله‌ها در میادین زه‌کشی، فاضلاب را به داخل خاک می‌فرستند. آبی که از طریق شکاف‌ها و یا منافذ لوله‌ها به‌داخل خاک وارد می‌شود، در میادین زه‌کش فاضلاب با کارایی مناسب، داخل خاک شده، در طبقات پایین نفوذ کرده، و قبل از رسیدن به آب زیرزمینی در چند فرایند پالایش قرار می‌گیرد. یکی از مزایای این روش اصلاح فاضلاب این است که توانایی تغذیه آب زیرزمینی را برای دیگر استفاده‌ها دارا می‌باشد.

مخزن فاضلاب: طراحی اساسی از یک مخزن فاضلاب و میدان زه‌کشی در شکل ۳۶-۶ الف نشان داده شده است. آبی که فضولات را از مستراح‌ها، ظرفشویی‌ها و حمام‌ها با خود حمل می‌کنند به‌وسیله‌ی نیروی ثقل از طریقه لوله‌های عایق‌کاری شده به یک محفظه‌ی بزرگ بتنی که در شیب پایین دست ساختمان ایجاد می‌شود وارد می‌گردد، این محفظه بزرگ که مخزن فاضلاب (سپتیک) نام دارد دارای یک یا ۲ درپوش قابل برداشت برای بازدید و یک یا چند مانع و مقسم می‌باشد، موانع سبب می‌شوند که سرعت فاضلاب ورودی کاهش یافته و بیشتر بار(۷۰درصد) مواد جامد معلق خود را ته‌نشست داده که بعداً در کف مخزن فاضلاب. ته‌نشین می‌شود، به‌محض این‌که این مواد جامد آلی تا حدی براثر فعالیت میکربی در مخزن فاضلاب مورد تجزیه قرار گرفت، حجم آن‌ها چنان کاهش می‌یابد که معمولاً سال‌ها طول می‌کشد تا مخزن فاضلاب پر شده و لجن متراکم شده (که سپیتاژ[3] نامیده می‌شود) به بیرون تخلیه شود.

تابلو ۱-۶ موفقیت و یا شکست در طراحی زه‌کش زمین‌نما
چپری از درختان شوکران که همگی بادقت هرس شده و به صورت بخشی از طراحی پیچیده زمین‌نما به‌شکل زینتی در آمده، به‌دلیل زه‌کشی ضعیف مجدداً در حال از بین رفتن بود و ثابت شد که تلاش پرهزینه‌ای که برای بهبود زه‌کشی در زیر درختان شوکران به‌عمل آمده بود، به شکست انجامید و درختان شوکران بازکاری شده مجدداً سبب ایجاد یک تصویر زشت به جای یک باغ عالی گردیدند. معمار چشم‌انداز که در باغ‌های زینتی شهرت جهانی دارد نهایتاً یک متخصص خاک را به همکاری طلبید تا راه‌حلی برای مرگ و میر درختان شوکران پیدا کند. مدارک نشان داد که در گذشته تلاش‌ها برای اصلاح مسأله زه‌کش با شکست مواجه بوده است. پیمانکاران تمام درختان شوکران را در چپر از بین برده و نهری در زیر چپر به‌عمق حدود ۳ متر ایجاد کرده بودند (شکل الف). آن‌ها سپس نهر را با شن نخودی تا حدود یک متری سطح خاک، و عمق باقی‌مانده را با خاک لوم سیلتی حاوی ماده‌ی آلی زیاد پر کردند. در داخل این لوم سیلتی درختان جدید شوکران کشت‌شدند در آخر خاک‌پوش پوست درخت به سطح زمین اضافه گردید. متخصص چشم‌انداز که شبکه‌ی زه‌کش

[1] -Filterfield
[2] -Septic Tank Drain Fields
[3] - Septage

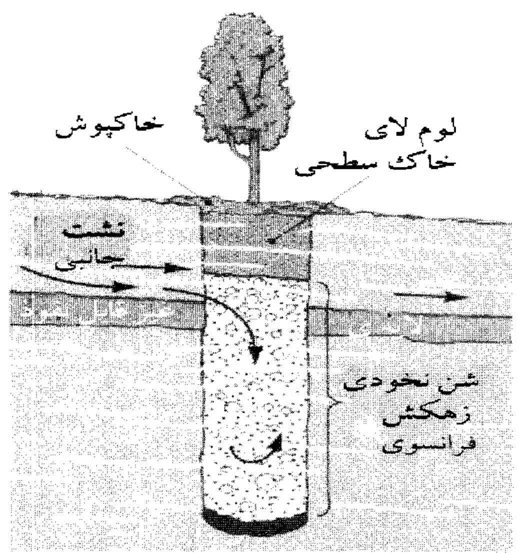
را طرح و پیاده کرده بود ظاهراً دانش اندکی در مورد افق‌های خاک و ارتباط آن با آب‌شناسی محلی داشت. وقتی متخصص خاک‌شناس منطقه، مسأله را مورد آزمایش قرار داد یک لایه نفوذ ناپذیر[1] رسی را پیدا کرد که موجب حرکت آب از منطقه بالا دست شیب به‌طور جانبی به منطقه ریشه درختان شوکران شده بود.

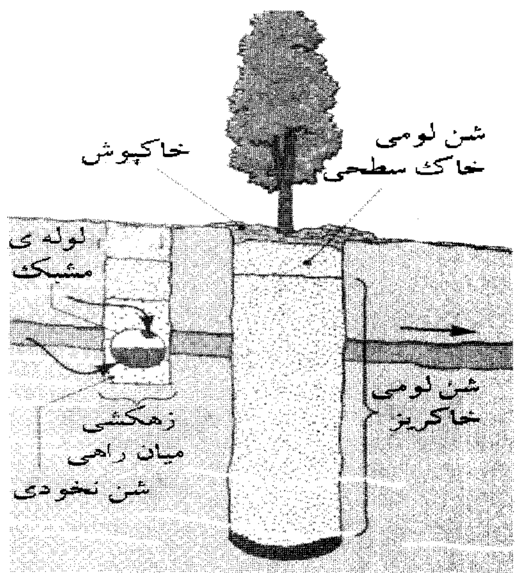
اصول اساسی حرکت آب خاک به او خاطر نشان کرد که آب از منافذ خاک لوم سیلتی فوقانی به داخل منافذ شن نخودی حرکت نخواهدکرد، و بنابراین شن نخودی داخل نهر برای زه‌کشی خاک سطحی لوم سیلتی مناسب نبود(با موقعیت شکل۲۷-۵ مقایسه کنید). درواقع آب که به‌طورجانبی بروی طبقه غیرقابل‌نفوذ حرکت می‌کرد سبب ایجاد یک سفره آب آویزان وریختن آب به نهر پرشده با شن نخودی گشته و سبب اشباع شن نخودی وخاک سطحی لوم سیلتی گردیده بود.

برای رفع مشکل، راه حل قبلی نمی‌بایست تکرار شود (شکل ب). درختان شوکران مرده برداشته شد و نهرها مجدداً حفر و سنگ‌ریزه از نهر برداشته شد، سپس نهر به‌وسیله‌ی خاک تحت‌الارضی لوم شنی تا نیم متر مانده به سطح خاک پر گردید تا منطقه مناسب انتشار ریشه را برای درختان همیشه سبز جایگزین شده فراهم کند (گونه دیگری به دلایلی که مربوط به زه‌کشی نبود انتخاب شد). نیم متر فوقانی نهر به‌وسیله‌ی خاک لوم شنی که آن‌هم اسیدی، اما دارای ماده‌ی آلی بالاتری بود پر گردید. مرز بین خاک تحت‌الارضی و خاک سطحی چنان مخلوط گردید که تفاوت خیلی بارزی بین طرز قرارگرفتن منافذ به‌وجود نیامد. این امکان حرکت یک جبهه مرطوب غیراشباع را به‌طرف پایین از لایه‌های فوقانی فراهم می‌کرد و سبب پایین‌کشیدن آب اضافی می‌گردید.

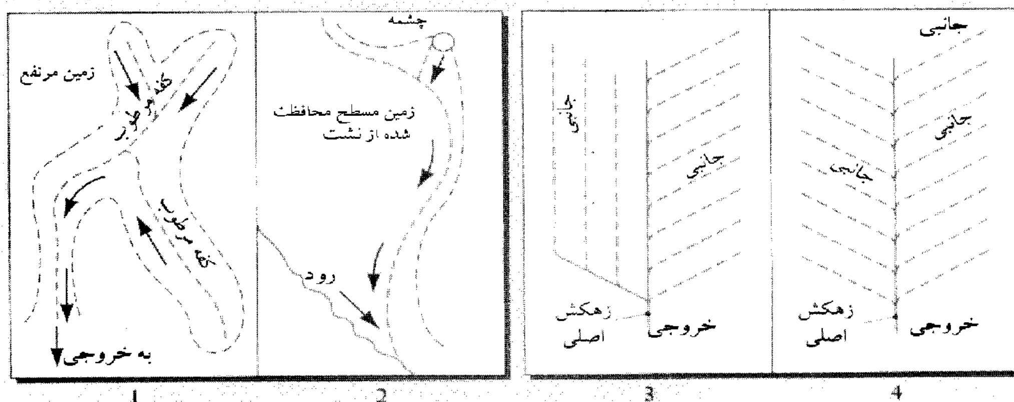
حدود یک متر در طرف بالادست نهر یک زه‌کش میان راهی نصب گردید[2] (ب). این زه‌کش شامل حفر یک جویچه کوچک در داخل لایه رس غیرقابل‌نفوذ بود که سبب هدایت آب به منطقه گردیده بود. یک لوله زه‌کشی مشبک که به‌وسیله‌ی یک لایه‌ی شن نخودی در بر گرفته شده بود، در کف جویچه با شیب ۱ درصد برای دور کردن آب از منطقه و هدایت آن به یک خروجی نصب گردید. زه‌کش میان راهی از حرکت جانبی آب بر روی لایه غیرقابل‌نفوذ خاک و رسیدن به منطقه‌ی ریشه درختان همیشه سبز ممانعت کرد.

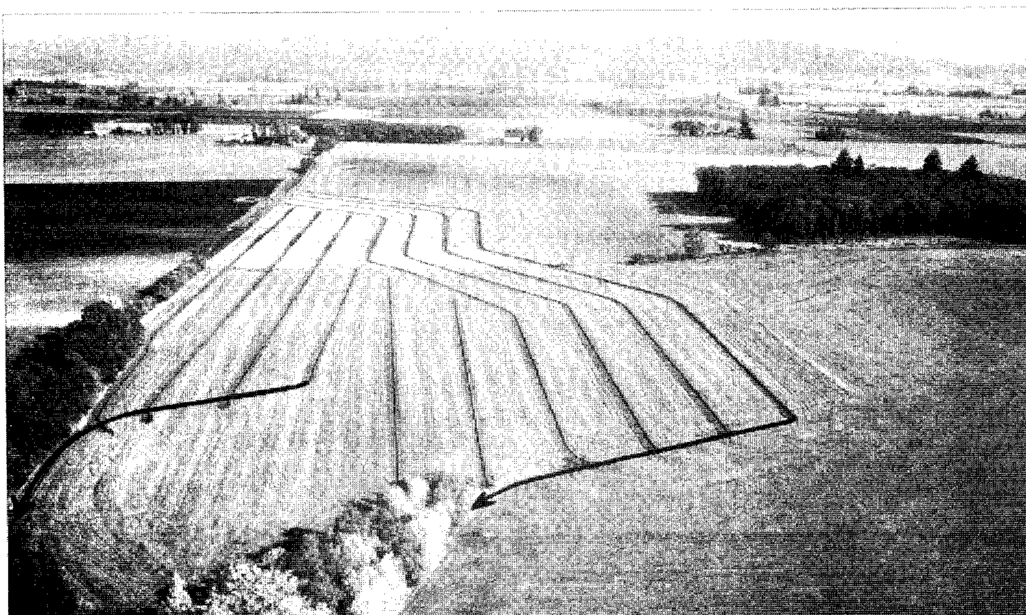
گرچه بازکاری درختان چپر شوکران یک‌سال استثنایی پرباران را به‌دنبال داشت نظام جدید زه‌کشی سبب ایجاد تهویه مناسب در خاک گردید ودرختان زنده ماندند. اصول حرکت آب، که در بخش‌های ٦-٥ و٩-٦ این کتاب تشریح گردید دراین مرزرعه با موفقیت به‌کار گرفته شدند.





---
[1] - Clay Pan
[2] - Interception drain





شکل ۳۲-۶ شبکه‌ی زه‌کشی تنبوشه‌ای (بالای عکس). چهار شبکه‌ی شاخص برای پیاده‌کردن زه‌کش تنبوشه‌ای ۱- طبیعی[1] که صرفاً شیوه‌ی زه‌کشی طبیعی را دنبال می‌کند۲- زه‌کش میان راهی[2] که مسیر نشت آب را از اراضی فوقانی به اراضی پایین دست قطع می‌کند ۳- نرده‌ی آهن[3]، ٤- شبکه‌ی (جناغی) استخوان ماهی[4] که به‌طور یکنواخت کل منطقه را زه‌کش می‌کند. (زیر) یک شبکه‌ی زه‌کش تازه ایجاد شده خطوط تنبوشه. زه‌کش اصلی را در زیر تغذیه می‌کنند. مسیر جریان با پیکان‌هایی نشان داده شده است

میدان زه‌کشی: آبی که به‌وسیله‌ی یک لوله در نزدیک بالای مخزن سپتیک (مخزن فاضلاب) خارج می‌شود فاضلاب[5] نامیده می‌شود. هرچند بار مواد معلق آن بسیار کاهش یافته است اما هنوز دارای ذرات آلی و مواد شیمیایی محلول (از جمله ازت) و ریز جانداران (از جمله عوامل بیماری‌زا) می‌باشد. فاضلاب مخزن براثر نیروی ثقل به جعبه‌ی بتنی بسیار کوچک‌تر که به آن ***جعبه‌ی توزیع*** گفته می‌شود جریان می‌یابد. جریان از آن‌جا به یک و یا چند لوله‌ی زیرزمینی که شامل میدان زه‌کشی است، هدایت می‌شود. این لوله‌ها دارای پوشش سنگ‌ریزه بوده و در نهرهایی با عمق حدود ۰/٦ تا ۱ متر در زیر سطح خاک دفن شده‌اند. این لوله‌ها در کف خود مشبک بوده و امکان می‌دهد که فاضلاب از آن خارج شده و به داخل خاک وارد گردد.

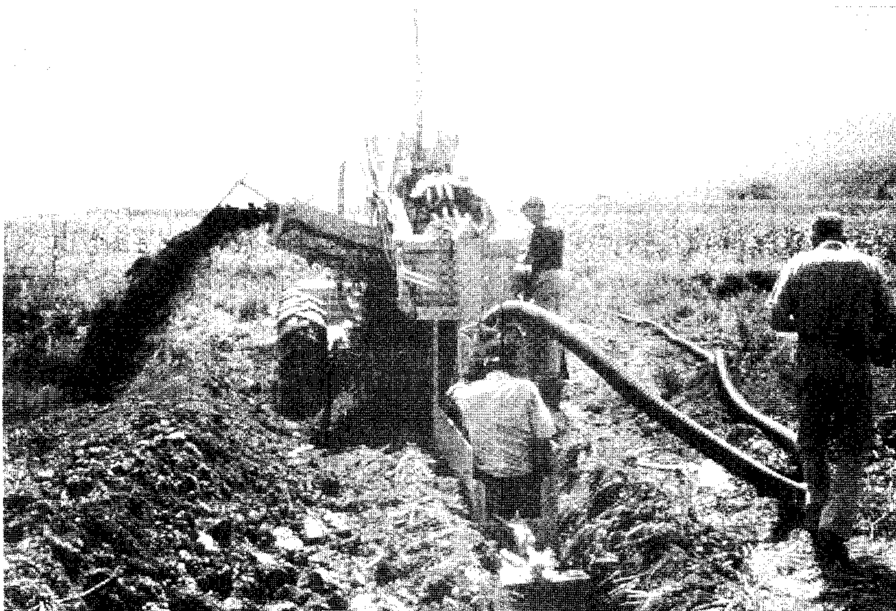
---

[1] - natural
[2] - Interception
[3] - Gridiron
[4] - Fishbone
[5] - Effluent

خصوصیات خاک در این‌جا یک نقش حیاتی ایفا می‌کنند شبکه‌های فاضلاب در میدان زه‌کش به دلایل زیر وابسته به خاک می‌باشند: ۱- پنهان‌نمودن فاضلاب از دید و خارج از تماس با مردم ۲- اصلاح یا تصفیه فاضلاب ۳-هدایت فاضلاب تصفیه شده به آب زیرزمینی.



شکل ۳۳-٦ یک شبکه‌ی زه‌کش با نهر روباز که برای پایین‌آوردن سطح ایستابی درفصول مرطوب ایجاده شده است جریان آب در نهر به‌دلیل نشت آب از خاک اشباع مجاور می‌باشد. این نهرها سبب تسریع در خارج ساختن رواناب سطحی می‌شوند. حاشیه موئینگی در بالای سفره‌ی آب می‌تواند به‌صورت یک نوار سیاه خاک دیده شود. برای حفظ کیفیت آب از آلودگی مواد شیمیایی ته‌نشست‌هایی که ممکن است از طریق رواناب به نهر برسد، نوارهای پشتیبان گیاهان چمنی و یا پوشش جنگلی باید در دو طرف نهر استقرار یابند در عقب عکس به تل انبارهای خاک زاید تحت‌الارضی که برای ایجاد نهر حفاری شده‌اند توجه کنید این مواد در لایه‌های نازکی پخش شده و با خاک سطحی به‌وسیله‌ی عملیات خاکوزری در مزرعه مخلوط می‌شوند، اما اول از نظر اسیدیه شدید و یا سایر خصوصیات زیان‌آور، که ممکن است سبب ایجاد خساراتی در کیفیت خاک سطحی گردد باید آزمایش شود.



شکل ٣٤-٦ تجهیزات اختصاصی هدایت شده به‌وسیله‌ی لیزر که خطوط زه‌کشی را که از لوله‌های پلاستیکی مشبک می‌باشد جایگذاری می‌کنند. لوله‌ها در طرف زیرین خود مشبک بوده تا امکان دهند آب از خاک اشباع به‌داخل آن‌ها نشت کند. نهر به‌وسیله‌ی خاکی که در سمت چپ انبار شده است پر می‌شود. خطوط زه‌کش باید عمیق‌تر از سطح ایستابی فصلی باشند.

ویژگی‌های مؤثر خاک در تناسب اراضی برای میدان زه‌کش سپتیک

خاک باید دارای چنان هدایت آبی اشباع باشد که اجازه دهد فاضلاب وارد خاکرخ شده و از آن به سرعت کافی برای جلوگیری از اشباع خاک سطحی به‌وسیله‌ی فاضلاب عبور کند، اما سرعت نیز باید چنان کند باشد که اجازه دهد خاک سبب پالایش مایع فاضلاب قبل از رسیدن آن به آب زیرزمینی گردد. خاک باید به اندازه‌ی کافی دارای تهویه خوب باشد که سبب تجزیه مواد زاید و تخریب عوامل بیماری‌زا گردیده، و دارای منافذ ریز و رس یا ماده‌ی آلی برای جذب و تصفیه آلاینده‌ها از پساب‌ها باشد.

خصوصیات قابل‌ملاحظه در خاکرخ، که بیانگر حضور سطح ایستابی بالا در بعضی مواقع سال می‌باشد مانند رنگین‌دانه‌ها[1] و رنگ‌های خاکستری احیایی[2]، ممکن است استفاده از یک منطقه را به‌عنوان میدان زه‌کش سپتیک بی‌ارزش کند. لایه‌های غیرقابل‌نفوذ مانند دج‌ها و یا لایه نفوذ ناپذیر رسی می‌تواند محل را برای ایجاد سازه متنفی سازد گرچه بعضی مواقع می‌توان با محدودیت‌های حاصل از لایه‌های غیرقابل‌نفوذ با قراردادن لوله‌ی میدان زه‌کش در زیر لایه‌ی محدودکننده مقابله نمود، البته هنگامی‌که فاصله‌ی قابل‌توجهی بین میدان زه‌کش با سطح ایستابی محلی موجود باشد این راه حل امکان‌پذیر خواهد بود.

آلودگی شدید آب زیرزمینی و به‌خطر افتادن تندرستی براثر پساب تصفیه نشده از پی‌آمدهای احداث میادین زه‌کش فاضلاب در زمین‌هایی است که از ویژگی‌های مناسب برخوردار نباشند. عکس در شکل۳۶-۶ ب نتیجه نصب میدان زه‌کشی پساب را در مزرعه‌ای با خاک‌های نامناسب نشان می‌دهد. خطوط سیاه در چمن نشان می‌دهند که چگونه چمن به آب و ازت پساب عکس‌العمل نشان داده است. این علایم مشخص می‌سازد که خاک یا دارای فرونشست آرام بوده، و یا سطح سطح ایستابی بالاست، و پساب به‌جای این‌که به پایین برود، در طبقات فوقانی حرکت کرده است.

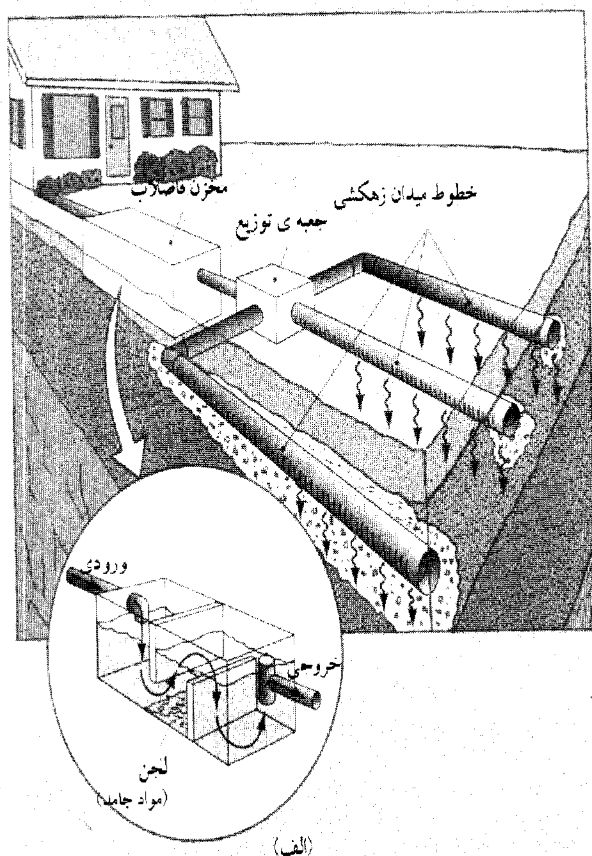
درجه‌بندی تناسب اراضی: تناسب منطقه‌ای برای نصب میدان زه‌کشی پساب به‌طور عمده وابسته به خصوصیات مؤثر خاک در حرکت آب و سهولت نصب (جدول ۷-۶) می‌باشد. برای مثال، شیب بسیار تند می‌تواند هم در سهولت نصب و هم در طرز عمل میدان زه‌کش پساب دخالت کند. میدان زه‌کش پساب نصب شده در شیب‌های زیادتر از ۱۵ درصد ممکن است امکان حرکت جانبی قابل توجهی را برای آب‌های نفوذی فراهم کند به‌طوری‌که در بعضی نقاط در پایین شیب پساب به سطح نشت کرده و عاملی برای به‌خطرانداختن سلامتی خواهد بود.



شکل ۳۵-۶ یک لوله‌ی مشبک زه‌کش پلاستیکی و یا خط لوله که در اثر ته‌نشست مسدود شده است. ته‌نشست به‌خاطر نصب نامناسب وارد شده است قسمت مشبک به‌جای در پایین قرارگرفتن در بالای لوله بوده است.

[1]-Mottled soil
[2]- Gley color

ویژگی‌های بهینه برای میدان زه‌کشی پساب تقریباً مخالف خصوصیاتی است که برای نصب زه‌کشی تنبوشه‌ای لازم می‌باشد برای نمونه، به‌جای یک سطح ایستابی بالا که لازم است با زه‌کش پایین‌آورده شود. میدان زه‌کش پساب باید دارای سطح ایستابی پایین باشد تا مقدار قابل توجهی خاک را با تهویه‌ی مناسب برای تصفیه پساب قبل از رسیدن آن به آب زیرزمینی فراهم آورد. واردکردن مقادیر زیاد پساب به‌داخل میدان زه‌کش پساب در واقع تا حدی سبب بالاآمدن آب زیرزمینی در زیر میدان زه‌کش خواهد شد.



(الف)


(ب)

شکل ۳۶-۶ (الف) یک میدان زه‌کش یا مخزن فاضلاب که از نظام استاندارد اصلاح فاضلاب در محل اصلی تشکیل شده است اکثر مواد جامد معلق در فاضلاب خانگی در مخزن بتنی فاضلاب ته‌نشین می‌شود. فاضلاب مخزن به میدان زه‌کشی جریان می‌یابد و در آن جا از لوله‌های مشبک به‌داخل خاک نشت می‌کند. فاضلاب به‌وسیله‌ی فرایندهای میکروبی، شیمیایی و فیزیکی هنگامی‌که به‌طرف آب زیرزمینی حرکت می‌کند، تصفیه می‌شود. (ب) عکس حکایت از نوارهای تیره چمن دارد که در اثر ضعیف عمل‌کردن خطوط لوله مخزن فاضلاب سبب تقویت چمن در اثر ازت فاضلاب گردیده است.

آزمون فرونشست[1]: یکی از مهم‌ترین آزمون‌ها که برای تعیین تناسب یک خاک برای نصب مخزن پساب اجرا می‌شود. آزمون میزان فرونشست (که در ارتباط با هدایت آبی اشباع است) را بر حسب واحد آب داخل شده بر حسب میلی‌متر (و یا واحد عمق) در ساعت تعیین می‌کند و مشخص می‌سازد که خاک می‌تواند پساب را با سرعت کافی به‌عنوان یک محیط دفع فاضلاب دریافت کند ویا خیر (جدول ۷-۶). انجام آزمایش آسان بوده (شکل ۳۷-۶) و باید در طول مرطوب‌ترین ایام سال انجام گیرد.

فرونشست کم تا حدی می‌تواند با افزایش طول کل لوله‌های میادین زه‌کش جبران گردد، بنابراین مساحت کل اراضی که به میدان زه‌کش اختصاص می‌یابد افزایش می‌یابد، با افزایش طول کل لوله‌ها حجم مشخصی از پساب در حجم بزرگ‌تری از خاک توزیع می‌گردد. معمولاً اندازه‌ی میدان زه‌کش به‌وسیله‌ی مقدار پسابی که احتمالاً وجود خواهد داشت تعیین می‌شود. در بسیاری از مقررات قانونی، اندازه میدان زه‌کش برپایه‌ی تعداد اطاق‌های خواب موجود در منطقه‌ی مسکونی تعیین می‌شود.

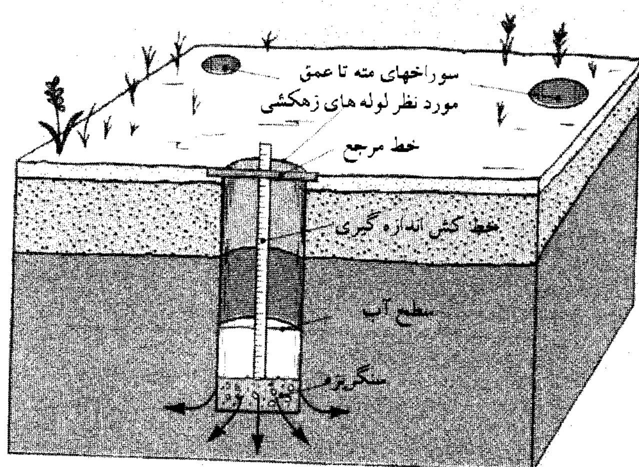
[1]- Percolaton test (perc test)

جدول ۷-۶ خصوصیات مؤثر خاک در تناسب میدان زه‌کشی مخزن پساب توجه کنید اکثر این خصوصیات خاک مربوط به حرکت آب در داخل خاکرخ است.

خصوصیات خاک (الف)	محدودیت		
	کم	متوسط	شدید
سیلگیری	-	-	سیلاب‌ها متعدد تا گاه بگاه
عمق تا سنگ بستر و یا سخت لایه غیرقابل‌نفوذ (سانتی‌متر)	۱۸۳<	۱۰۲-۱۸۳	۱۰۲>
ماندابی‌بودن	نه	نه	بلی
عمق تا بالاترین سفره آب داخلی (سانتی‌متر)	۱۸۳ < عمق	۱۲۲-۱۸۳	۱۲۲>
نفوذپذیری (آزمایش فرونشست) در عمق ۶۰ تا ۱۵۲ سانتی‌متری خاک میلی‌متر در ساعت	۵۰ -۱۵۰	۱۵-۵۰	(ب) ۱۵۰ < یا ۱۵ >
درصد شیب اراضی	۸>	۸-۱۵	۱۵<
درصد سنگ‌های درشت‌تر از ۷/۵ سانتی‌متر (درصد خاک خشک بر حسب وزنی)	۲۵>	۲۵-۵۰	۵۰<

الف: با این فرض که خاک شامل یخ بندان دایمی نبوده و بیشتر از ۶۰ سانتی‌متر نشست نداشته باشد

ب: نفوذپذیری خاک (اندازه‌گیری شده به‌وسیله‌ی آزمون فرونشست) بیشتراز ۱۵۰ میلی‌متر درساعت خیلی سریع بوده و امکان تصفیه بسنده و صاف کردن وجود ندارد



شکل ۳۷-۶ آزمون فرونشست که برای تعیین تناسب خاک برای میدان زه‌کشی پساب به‌کار می‌رود. در منطقه‌ای که برای ایجاد میدان زه‌کشی پیشنهاد شده است، تعدادی چاله تا عمقی که لوله‌های مشبک قرار است نصب شوند حفر می‌گردند، کف هرکدام از چاله‌ها به‌وسیله‌ی چند سانتی‌متر سنگریزه پوشش‌دار می‌شود و حفره‌ها از آب. به‌عنوان پیش آزمایش برای اطمینان از مرطوب‌بودن خاک، درهنگام اجرای آزمایش، پر می‌شوند. بعد از زه‌کشی آب، حفره‌ها مجدداً از آب پر شده و یک میله اندازه‌گیری برای تعیین سرعت پایین رفتن آب در طول چند ساعت و یا یک روز نصب می‌شود.

نظام‌های جایگزین

در بعضی از مناطق پست، پیداکردن مناطقی با سطح ایستابی به اندازه کافی عمیق برای نصب میدان زه‌کش پساب براساس معیارهای تعیین‌شده عملاً غیرممکن است. در این موارد جایگزین‌هایی برای میادین زه‌کش زیرزمینی باید پیدا کرد.

یکی از این جایگزین‌ها نظام میدان زه‌کش تپه‌ای است (شکل ۳۸-۶) لوله‌های مشبک میدان زه‌کش در روی زمین بر روی بستری از شن نصب شده و به‌وسیله‌ی تپه‌ای از مواد شنی پوشیده می‌شوند. برای پوشش نهایی از خاک‌های لومی برای ایجاد گیاهان چمنی استفاده می‌شود. این نوع نظام باید برای توزیع آب فاضلاب تا رسیدن به لوله‌های مشبک از پمپ‌ها استفاده کند. پوشش گیاهی استقراریافته بر روی تپه مقداری از آب را برای تبخیروتعرق مورد استفاده قرار می‌دهد، اما اکثر پساب درداخل مواد تپه نفوذپذیر به طبقات پایین نشت می‌کند.

معدودی از جوامع در حال آزمون ایجاد اراضی ماندابی مصنوعی برای بهبود فاضلاب مخزن پساب در جاهایی هستند که خاک برای میدان زه‌کش برپایه‌ی معیارهای تعیین‌شده بسیار غیرقابل‌نفوذ و یا پایین (پست) می‌باشد. جریان مایع فاضلاب به آهستگی از داخل مجموعه‌ای از استخرهای کم‌عمق با پوشش گیاهی تنظیم می‌گردد تا درآن بعضی مواد جامد پساب براثر تصفیه‌ی فیزیکی، و یا با برداشت و تجزیه‌ی عناصر غذایی و ترکیبات آلی به‌وسیله‌ی جذب گیاهان و واکنش‌های زیست شیمی پالایش گردند.

چنین گزینه‌هایی برای میدان‌های زه‌کش نیازمند پروانه خاص بوده و در تمام مناطق مجاز نمی‌باشند. روش غیرمعمول اما سازگارتر با محیط زیست کمپوست‌کردن فضولات مستراح‌ها است که فضولات انسانی به‌جای این‌که با آب وارد شبکه فاضلاب گردد به ماده هموس مانند اصلاح‌کننده خاک تبدیل می‌شود.



شکل ۳۸-۶ نظام میدان زه‌کش تپه‌ای مخزن پساب تصفیه‌ی فاضلاب که برای یک منزل تازه‌ساخت در یک منطقه مسطح با زه‌کشی ضعیف نصب شده است. به هواکش در بالای تپه و مانداب حاصل از بارندگی در جلو عکس توجه کنید.

۱۱-۶ اصول و عملیات آبیاری

در بسیاری از مناطق جهان نابسندگی آب اولین عامل محدودکننده‌ی توان تولیدات کشاورزی است در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به‌طورکلی زراعت پرنهاده بدون آبیاری تکمیلی و تنها با آب باران محدود حاصل از طبیعت غیرممکن است. هرچند در صورت تامین آب به‌وسیله‌ی آبیاری بابودن آسمان آفتابی و خاک‌های حاصلخیز، تولید و عملکرد در بعضی از مناطق خشک، بسیار بالا خواهد بود. بنابراین جای تعجب نیست که بسیاری از تمدن‌های اولیه و کلان شهرها وابسته به زراعت آبی بوده‌اند (و بالعکس). تاریخ آبیاری تقریباً به قدمت خود کشاورزی است. تولید برنج در آسیا، گندم و جو در خاورمیانه و ذرت در آمریکای مرکزی و جنوبی با آبیاری‌کردن مناسب این زراعت‌ها طی ۲۰۰۰ سال گذشته انجام گرفته است.

وسایل هدایت آب به کشت‌ها و روش آبیاری طی زمان و در مناطق تغییر کرده است. تمدن‌های باستانی بین‌النهرین در دره‌ی رودخانه‌های دجله و فرات سبب ایجاد شبکه پیچیده‌ای از نهرها و جوی‌ها برای انتقال آب از رودخانه‌های بزرگ به اراضی گسترده زراعی گردیدند. بعضی از ساکنین بیابان‌ها از یک نظام جمع‌آوری آب با هدایت رواناب حاصل از رگبارهای شدید از اراضی وسیع بایر شیب‌دار به اراضی کوچک مسطح با خاک‌های عمیق در کف دره‌ها، که آب کافی را بتوان برای رشد یک محصول در خاکرخ آن‌ها ذخیره کرد بهره می‌بردند. در سایر مناطق زارعین دلوهای معمول را از آب رودخانه‌ها و یا چاه‌های دهن گشاد پر کرده و آن‌ها را برای استفاده گیاهان تشنه باغ‌های خود حمل می‌کردند. امروزه این روش‌های انتقال آب را هنوز می‌توان مشاهده نمود، گر چه در بسیاری از نظام‌های کشاورزی و چشم‌اندازها این روش‌ها به‌وسیله‌ی روش‌های نوین پمپاژ و لوله‌گذاری جایگزین شده‌اند.

اهمیت آبیاری در حال حاضر

فضای سبز: آبیاری یکی از اجزای فضای سبز در بسیاری از مناطق مسکونی و مؤسسات مانند میدان‌های بازی گلف، چمن منازل و گلکاری‌ها می‌باشد (عکس شکل ۵-٦ را مشاهده کنید). آبیاری سبب سبزماندن چمن‌ها در طول ایام خشک تابستانی در مناطق مرطوب می‌باشد اما تقریباً در تمام طول سال برای نگهداری گونه‌های پررشد در مناطق خشک‌تر لازم می‌باشد. در مناطق خشک[1]، آبیاری می‌تواند چشم‌اندازهای قهوه‌ای دل‌آزار را به درختان سایه‌انداز خنک و گل‌های الوان تبدیل کند. در بسیاری از موارد استفاده از آبیاری برای چشم‌اندازها بر اساس اشتیاق به حفظ پوشش گیاهی همراه با یک تصور دل‌انگیز از شادابی سبز دایمی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. برای مثال، گونه‌های چمن گلف مانند چمن آبی کنتاکی(Kentucky bluegrass)، که به‌طور طبیعی در چند ماه مرطوب سرد در ایالت کنتاکی سبز می‌باشد در بعضی باغچه‌های مناطق خشک در تمام طول سال سبز نگه داشته می‌شود.

در مقابل در بسیاری از مناطق جهان چمن‌ها، چشم‌اندازها و میدان‌های گلف از گیاهان سازگار، که با دوره‌های هوای خشک و سایر شرایط نامناسب که خاصه‌ی اقلیم بومی بدون آبیاری (هر چند نه الزاماً در یک وضعیت سبز شاداب) است بهره می‌برند. در ایالات متحده‌ی امریکا آبیاری چشم‌اندازها سریع‌تر از رشد جمعیت پیشرفت داشته است. هرچند بالارفتن آگاهی زیست‌محیطی سبب خلق شیوه‌های کوچک اما روبه‌پیشرفت درمورد چشم‌اندازهای خشکی‌پسند (استفاده از گیاهان کویری و صخره‌ها) در مناطق خشک، و به‌طور کلی استفاده بیشتر از گیاهان بومی شده است که نیاز کمتری به آبیاری داشته و یا اصلاً نیازی ندارند.

تولید مواد غذایی: طی قرن بیستم اراضی تحت زراعت‌های آبی در بسیاری از مناطق جهان، از جمله ۱۷ ایالت نیمه‌خشک غرب آمریکا، به‌مقدار زیادی گسترش یافته است. کل اراضی تحت آبیاری در مقیاس جهانی به حدود ۲۵۰ میلیون هکتار رسیده است که حدود ۱٦ درصد اراضی تحت کشاورزی جهان را شامل می‌شود. توان تولید بالا که ناشی از انجام آبیاری است، از این واقعیت ناشی می‌شوند که اراضی آبی ٤۰ درصد تولید محصولات جهان را به‌عهده دارند.

توسعه و بهبود آبیاری، به‌خصوص در آسیا، عامل مهمی در تامین محصولات غذایی به موازات رشد جمعیت و حتی بیشتر از آن شده است. درنتیجه زراعت آبی به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده‌ی منابع آب در جهان باقی مانده و حدود ۸۰ درصد کل آب مورد مصرف را در مقیاس جهانی، و در ایالات متحده آمریکا شامل می‌شود (شکل ۳۹-٦).

چشم‌انداز آینده: آب لازم برای توسعه‌ی آبیاری عمدتاً از منابع ذخیره آب حاصل از ایجاد سدها و یا پمپاژ آب از آب‌خوان‌های عمیق بدست می‌آید. در میان مسایلی که زراعت آبی در آینده با آن مواجه است، به تحلیل‌رفتن تدریجی قابلیت استفاده آب آبیاری از این دو منبع است. دلایل کاهش عبارتند از: ۱- بالارفتن رقابت برای آب به‌وسیله‌ی جمعیت رو به افزایش مصرف‌کنندگان شهری ۲- پمپاژ بی‌رویه از آب‌خوان، که سبب پایین‌افتادن سفره آب شده است ۳- کاهش ظرفیت منابع ذخیره‌ی آب به‌وسیله‌ی ته‌نشست‌های حاصل از فرسایش (بخش ۲-۱۷ را مشاهده کنید) ٤- بالا رفتن درک این نیاز که بخشی از رودخانه بدون هر نوع استفاده برای آبیاری، به‌خاطر بقای زیست‌گاه ماهیان پایین‌دست، باید جریان داشته باشد.

منابع آبیاری در مناطق خشک، که بیشترین نیاز را دارند با سرعت هرچه‌تمام‌تر درحال کمیاب‌شدن و یا گران‌شدن است. کاهش هدررفت و بالابردن بازده‌ی استفاده از آب در آبیاری جنبه‌های بسیار مهمی هستند که در این بخش به آن توجه خواهد شد. یکی دیگر از مسایل عمده، که با آبیاری همراه است، شورشدن خاک‌ها و زه‌کشی آن‌ها می‌باشد که در فصل ۱۰ مورد توجه قرار خواهد گرفت.

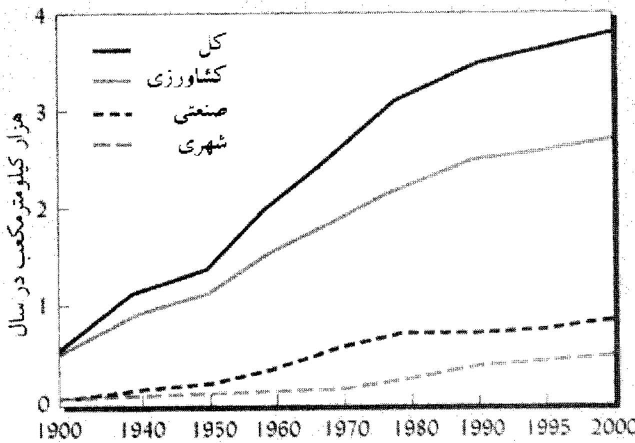
بازده‌ی استفاده از آب

روش‌های مختلف تعیین بازده‌ی استفاده از آب برای مقایسه منافع نسبی روش‌ها و نظام‌های مختلف آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. یک روش کلی بسیار پرمعنی، بازده‌ی ستانده‌های نظام (زیتوده نبات و یا ارزش محصول قابل‌فروش) را با مقدار آب اختصاص یافته

---

[1] - تفاوتی بین مصرف با بازگشت(Withdrawal) و مصرف بدون بازگشت(Consumptive use) وجود دارد. واژه‌ی دوم مربوط به استخراج آب از منابع سطحی و یا زیرزمینی بوده و چنان مصرف می‌شود که مستقیماً سبب برگشت آب به آن منابع برای مصرف نمی‌گردد. بنابراین آب استخراج شده برای آبیاری که به‌وسیله‌ی تبخیر و تعرق به نیوار باز گشته است یک مصرف بی‌بازگشت است اما آب استخراج شده برای خنک‌کردن یک توربین مولد الکتریسیته که مجدداً به رودخانه‌ای باز می‌گردد که از آنجا آمده است یک مصرف با بازگشت است. به‌طور متوسط، ۳۰ تا ۳۵ درصد آب استخراج شده برای آبیاری به منابع آب برای مصرف مجدد باز میگردد و مصرف بی‌بازگشت نمی‌باشد، درحالی‌که ۹۵-۹۰ درصد آب خارج شده برای مصارف صنعتی به رودخانه برگشته و بنابراین به‌عنوان مصرف بی‌بازگشت در نظر گرفته نمی‌شود.

به‌عنوان نهاده‌های نظام باهم مقایسه می‌کند. عوامل بسیار زیادی را باید مورد ملاحظه قرار داد (مانند نوع نبات کاشته شده، استفاده مجدد از آب هدر شده به‌وسیله‌ی پایین دست‌ها و غیره)؛ بنابراین، چنین مقایسه‌هایی باید با احتیاط انجام گیرد.



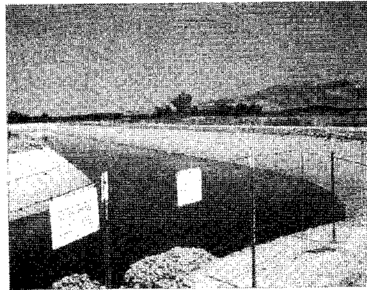
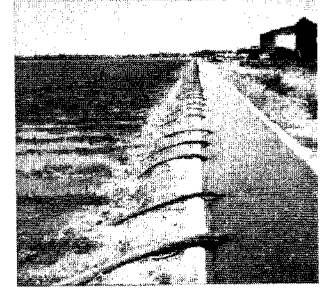
شکل ۳۹-۶ شیوه‌های مصرف جهانی استفاده از آب به‌وسیله‌ی مجموعه‌ای از بهره‌برداران، توجه کنند که کشاورزی (عمدتاً آبیاری) بیشترین مقدار آب را مصرف می‌کند، گرچه سهم آن در سال‌های اخیر کاهش یافته است.

بازده کاربرد آب: روش ساده‌تر بازده‌ی استفاده از آب است که بعضی مواقع به آن بازده‌ی مصرف آب نیز اطلاق می‌شود. این واژه مقدار آب اختصاص‌یافته به یک مزرعه آبیاری شده را با میزان آب واقعی مصرف شده در گیاهان تحت آبیاری مورد مقایسه قرار می‌دهد. اکثر نظام‌های آبیاری در این مورد بسیار ناکارا می‌باشند به‌طوری‌که فقط ۳۰ تا ۵۰ درصد آب اخذ شده از منبع نهایتاً به ریشه‌ی گیاهان می‌رسد.

اکثر هدررفت آب، در آبراهه‌ها و شبکه‌ی نهرهای توزیع آب به مزارع آبی صورت می‌گیرد. اگر انتقال به‌وسیله‌ی نهر بدون پوشش سرباز باشد، آب با سرعت به‌طور قایم به زیر نهر به داخل آب زیرزمینی (هر چند بعضی از این آب ممکن است به‌وسیله‌ی آبیاران در اراضی پایین‌دست رودخانه مصرف شود) و به‌طور افقی نیز به داخل خاک در اطراف نهر حرکت می‌کند. حجم قابل‌توجهی از آب همچنین براثر تبخیر از سطح در نهرها و آبراهه‌ها تبخیر می‌شود. برای کاهش این تلفات هنگام توزیع آب، نهرها می‌توانند به‌وسیله‌ی بتن و یا پلاستیک پوشش یابند (شکل ۴۰-۶ را مشاهده کنید). در بعضی موارد، هدررفت ناشی از تبخیر هنگام توزیع با استفاده از لوله‌های بزرگ که بسیار گران‌تر از نهرهای روباز است حذف می‌شود.

بازده آب مزرعه: بازده‌ی آب در مزرعه ممکن است به‌صورت زیر بیان شود:

$$\text{بازده‌ی آب مزرعه} = \frac{\text{آب تعرق یافته به‌وسیله‌ی نبات} \times ۱۰۰}{\text{آب مصرف شده در مزرعه}}$$

شکل ۴۰-۶ نهرهای آبیاری با پوشش سیمانی (مرکز) و لوله‌های سیفونی در اندازه استاندارد (سمت راست) می‌توانند بازده توزیع آب را در مزرعه افزایش دهند. نهرهای بدون پوشش سیمانی (سمت چپ) مقدار زیادی آب را در خاک‌های مجاور و یا آب زیرزمینی از دست می‌دهند. به شواهد حرکت موبینه در بالای نهرهای بدون پوشش توجه کنید.

ارقام بازده‌ی آب مزرعه، بسیار پایین بوده به‌خصوص اگر نظام‌هایی سنتی مورد استفاده باشند. معمولاً بیشتر از نصف آبی که در واقع در مزرعه توزیع شده است به‌وسیله‌ی نبات تعرق نمی‌یابد. بنابراین، به‌صورت رواناب سطحی، فرونشست پایین‌تر از ریشه نبات و یا براثر تبخیر از سطح خاک از دست می‌رود. از آنجاکه مقداری فرونشست برای حذف نمک‌های اضافی لازم است (بخش ۹-۱۰ را مشاهده کنید) بهترین

بازده‌ی آب مزرعه احتمالاً خیلی بزرگ‌تر از ۸۰ تا ۹۰ درصد نمی‌باشد. دست‌یابی به مقادیر بالایی بازده‌ی آب مزرعه (هدررفت اندک آب) وابستگی بسیاری به مهارت مدیر آبیاری و روش‌های آبیاری به‌کار رفته دارد. بنابراین توجه خود را به روش‌های اصلی آبیاری که امروزه مورد استفاده‌اند معطوف می‌داریم.



شکل ۴۱-۶ نمایی از آبیاری شاخص. استفاده از سیفون‌ها با سهولت نصب و یا لوله‌های دریچه‌دار سبب کاهش نیروی کار آبیاری شده و تنظیم میزان مصرف آب آسان‌تر می‌شود. به حرکت روبه بالای مویینه در دو طرف جوی‌ها توجه کنید.

آبیاری سطحی

در این نظام آب از طرف بلند مزرعه به‌کارگرفته شده و اجازه داده می‌شود که به‌وسیله‌ی جریان ثقلی توزیع یابد. معمولاً در این نظام اراضی باید چنان تسطیح گردیده و شکل داده‌شوند که آب به‌طور یکنواخت در طول مزرعه جریان یابد. آب ممکن‌است درداخل جویچه‌هایی با شیب اندک توزیع گردیده تا آب واردشده در طرف بالای مزرعه از طریق جویچه‌ها با میزان تحت تنظیم به‌پایین جریان یابد (شکل ۴۱-۶) در نظام آبیاری نواری[1]، اراضی در نوارهای پهن با عرض ۱۰ تا ۳۰ متر که به‌وسیله‌ی پشته‌های کوتاهی مرزبندی می‌شوند، شکل داده می‌شوند.

تنظیم آب: آب معمولاً در مزارع آبیاری به‌وسیله‌ی نهرها و یا لوله‌های دریچه‌دار (همانند آن‌چه در شکل‌های ۴۰-۶ و ۴۱-۶ آمده است) انتقال می‌یابد. میزان آبی که وارد خاک می‌شود به‌وسیله‌ی نفوذپذیری خاک و طول مدت زمانی که یک نقطه خاص زیر آب می‌ماند تعیین می‌شود. دست‌یابی به نفوذپذیری یکنواخت به مقدار مورد نیاز بسیار مشکل است و در ارتباط با شیب و طول کرت‌های آبیاری در مزرعه می‌باشد. اگر خاک خیلی قابل نفوذ باشد (بعضی از خاک‌های لوم شنی) آب خیلی زیادی ممکن است در قسمت بالای مزرعه نفوذ کرده و مقدار خیلی کمی به قسمت پایین آن برسد (شکل ۴۲-۶). از طرف دیگر در یک خاک بافت ریز نفوذ آب ممکن است چنان آرام باشد که آب در سطح مزرعه جاری گردد و در قسمت پایین مزرعه به‌صورت ماندابی در آمده و یا بدون نفوذ در خاک هرز رود. بنابراین در خاک‌های خیلی شنی، هدررفت آب و مواد غذایی ناشی از آبشویی در قسمت بالای مزرعه مسأله می‌باشد. در خاک‌های رسی، فرسایش، رواناب و ماندابی‌شدن ممکن است در قسمت پایین مزرعه مسأله باشد.

---

[1] - Border irrigation

روش کرت‌های مسطح[1] در آبیاری سطحی همانند آن‌چه در شالیزارها و درختان خاص به‌کار می‌رود سبب تخفیف این مسایل می‌شود. زیرا هر حوضچه بدون‌شیب بوده و به‌طورکامل به‌وسیله‌ی پشته‌هایی احاطه می‌شود که اجازه می‌دهند آب در آن‌ها تا کامل‌شدن نفوذ باقی بماند.

جدول ۸-۶ بعضی از ویژگی‌های سه روش اصلی آبیاری

روش آبیاری و مثال‌های خاص	هزینه‌های شبکه‌ی نصب ۱۹۹۶ بر حسب دلار (الف)	نیروی کارگر لازم	بازده‌ی آب مزرعه (درصد) (ب)	خاک‌های مناسب
آبیاری سطحی: کرتی[2] سیلابی[3] جویچه‌ای[4]	۴۰۰-۷۰۰	بالا تا اندک بسته به شبکه	۴۰-۵۰	اراضی نسبتاً مسطح- خیلی شنی و خیلی صخره‌ای نباشد
آبیاری بارانی: دورانی[5] - سیار، ثابت[6]	۶۰۰-۱۲۰۰	متوسط تا اندک	۶۰-۷۰	مسطح تا شیب متوسط خیلی رسی نباشد
ریزآبیاری: شامل قطره‌ای[7] لوله مشبک[8] قطره‌افشان[9] حبابی[10]	۷۰۰-۱۵۰۰	کم	۸۰-۹۰	اراضی مسطح تا پرشیب، هر نوع بافت از جمله خاک‌های صخره‌ای و سنگریزه‌ای

الف- هزینه‌های نظام زه‌کش منظور نشده است

ب- بازده‌ی آب در مزرعه عبارتست از:

$$\frac{(\text{آب تعرق یافته نبات})}{\text{آب مصرف شده در مزرعه}} \times 100$$

این روش برای خاک‌های خیلی قابل نفوذ که آب در داخل آن‌ها چنان سریع نفوذ می‌کند که هیچوقت کرت پر نمی‌شود مناسب نمی‌باشد. در اراضی شیب‌دار سکوهایی می‌توانند به‌صورت تغییراتی در روش کرت‌های مسطح ساخته شوند (شکل ۴۳-۶)

انواعی از آبیاری سطحی در طول ۵۰۰۰ سال مورد استفاده بوده‌اند آن‌ها نیازمند ادوات اندکی بوده و اجرای آن‌ها نسبتاً ارزان است، هزینه‌ی سرمایه‌ای اصلی معمولاً شکل‌دادن اولیه اراضی است که ممکن است اگر اراضی در شروع کار مسطح نباشند کاملاً پرهزینه گردد. گرچه تنظیم هدررفت ناشی از آبشویی و رواناب مشکل بوده و سراسر سطح خاک چنان مرطوب می‌شود که بیشتر آب براثر تبخیر از سطح خاک و یا به‌وسیله‌ی تعرق گیاهان هرز از دست می‌رود.

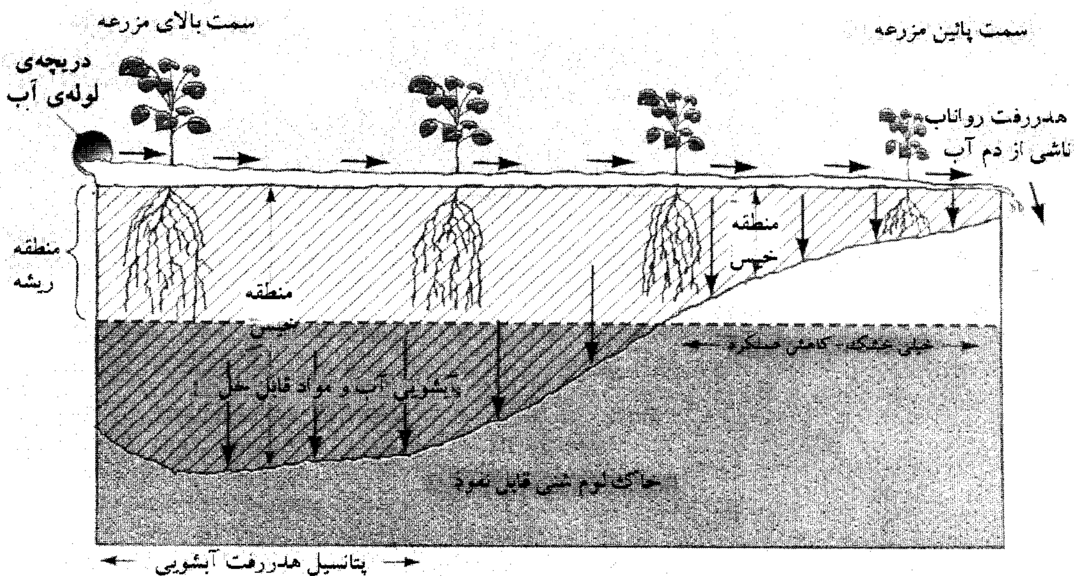
نظام آبیاری بارانی

در آبیاری بارانی آب از طریق هوا بر روی مزرعه پاشیده شده و مشابه بارندگی می‌باشد. بنابراین، سراسر سطح خاک و همچنین پوشش برگی (اگر وجود داشته باشد) مرطوب می‌شوند. این سبب هدررفت ناشی از تبخیر مشابه با آن‌چه درمورد آبیاری سطحی تشریح شد، می‌گردد. به‌علاوه ۵ تا ۲۰٪ آب استعمال شده ممکن است براثر تبخیر و یا انتقال ذرات مه با باد هنگام پرواز قطرات در هوا از دست برود. یک مزیت این نظام عبارت از عکس‌العمل مثبت نبات به آب خنک‌تر با تهویه بیشتر باران می‌باشد. یکی از مضار آن امکان افزایش شیوع امراض قارچی در برگ‌های بعضی نباتات مانند انگور، درختان میوه و گل‌های سرخ می‌باشد. بنابراین آبیاری بارانی معمولاً برای این نباتات به‌کار نمی‌رود. **تنظیم آب:** یک شبکه‌ی آبیاری باید چنان طراحی شود که آب را به‌میزانی که کمتر از ظرفیت نفوذ خاک است توزیع کند، به‌طوری‌که رواناب و فرونشست زیاد صورت نگیرد. در عمل ممکن است وقتی ظرفیت نفوذ خاک اندک بوده و اراضی نسبتاً شیب‌دار و یا آب بسیار

---

1 - Level basin
2 - Basin irrigation
3 - Flood irrgation
4 - Furrow irrgation
5 - Center pivot
6 - Solid set
7 - Drip irrigation
8 - Porous pipe
9 - Spitter
10 - Bubbler

زیادی در یک محل استعمال گردد رواناب و فرسایش مسأله‌ای را ایجاد کنند. بعضی مواقع ممکن است براثر فرونشست به‌خاطر پاشش آب بیشتری در منطقه نزدیک آب‌پاش، درمقایسه با دورتر از آن آب از دست برود. همپوشانی دایره‌های آب‌پاشی شده می‌توانند به توزیع یکنواخت‌تر آب کمک کند. به‌خاطر تنظیم بیشتر میزان استعمال، بازده‌ی آب مزرعه در نظام‌های آبیاری بارانی از نظام‌های سطحی به‌خصوص در خاک‌های بافت درشت، معمولاً بالاتر است.



شکل ۴۲-۶ توزیع آب در خاک‌های بافت درشت در آبیاری سطحی. میزان ظرفیت نفوذ بالا سبب نفوذ اکثر آب در نزدیکی دریچه‌های لوله‌ها در قسمت بالای مزرعه می‌باشد. توزیع غیریکنواخت آب سبب ایجاد توان برای هدررفت آب و مواد شیمیایی محلول براثر آبشویی در قسمت فوقانی مزرعه می‌گردد. درحالی‌که ممکن است گیاهان در قسمت پایین مزرعه آب ناکافی برای مرطوب‌کردن تمام منطقه ریشه دریافت دارند. در خاکی با نفوذپذیری کمتر و یا در مزرعه‌ای با شیب تند هدررفت ناشی از رواناب احتمالاً در بخش پایین مزرعه بیشتر بوده و پتانسیل آبشویی در قسمت فوقانی پایین می‌باشد.



شکل ۴۳-۶ نظام کرت مسطح در آبیاری سطحی که برای اراضی شیب‌دار در جنوب آسیا به‌وسیله‌ی ساخت سکوها تغییریافته است. برنج در کرت‌های غرقابی رشد می‌کند. این نوع آبیاری فقط برای خاک‌هایی با نفوذپذیری پایین مناسب است.

خاک‌های مناسب: آبیاری بارانی در دامنه‌ی وسیعی از خاک‌ها در مقایسه با آبیاری سطحی قابل انجام می‌باشد. انواع مختلفی از نظام‌های آبیاری بارانی با خاک‌های دارای شیب متوسط و همینطور خاک‌های مسطح تطابق یافته‌اند. آن‌ها می‌توانند در خاک‌ها با دامنه وسیعی از بافت‌ها حتی، برای خاک‌های بسیار شنی نامناسب برای آبیاری سطحی، مورد استفاده قرار گیرند.

تجهیزات: هزینه تجهیزات در نظام‌های آبیاری بارانی از نظام سطحی بالاتر است. پمپ‌های فشار قوی و لوله‌ها و نازل‌های به‌خصوص مورد نیاز می‌باشند. بعضی از انواع آبیاری بارانی در محل ثابت بوده و بعضی دیگر به‌وسیله‌ی کارگر جابه‌جا می‌شود. انواع دیگری وجود دارند که خودگردان هستند چه به‌صورت حرکت چرخشی در دایره‌های بزرگ حول یک محور مرکزی[1] (شکل ٤٤-٦) و چه به‌صورت حرکت آرام در طول یک مزرعه مستطیلی[2](متحرک چرخ‌دار). اکثر نظام‌ها می‌توانند خودکار گردیده و برای توزیع مقادیر لازم آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی تطابق یابند.

ریزآبیاری[3]

کلمه‌ی ریز، در ریزآبیاری مطرح می‌سازد که فقط بخش کوچکی از خاک به‌وسیله‌ی این نظام مرطوب می‌شود (برعکس مرطوب‌شدن کامل خاک که به‌وسیله‌ی اکثر نظام‌های آبیاری سطحی و بارانی صورت می‌گیرد). این کلمه همچنین ممکن است به مقدار اندک آب استعمال شده در هر نوبت و یا به اندازه‌ی کوچک تجهیزات مربوط اشاره داشته باشد.

شاید بهترین نظام ریزآبیاری تثبیت شده آبیاری قطره‌ای[4] (یا قطره‌چکانی) باشد که در آن قطره‌چکان‌های کوچک متصل به لوله‌های پلاستیکی آب را در خاک و کنار هر نبات قرار می‌دهد.در بعضی موارد لوله‌ها و قطره‌چکان‌ها در عمق ۵۰-۲۰ سانتی‌متری دفن می‌شوند تا آب مستقیماً در منطقه‌ی انتشار ریشه توزیع گردد. در سایر موارد آب ممکن‌است با میزان اندک (بعضی مواقع قطره‌قطره) اما به‌طور مکرر برای حفظ قابلیت استفاده‌ی بهینه آب خاک درمجاورت منطقه ریشه استعمال گردد، درحالی‌که اکثر حجم خاک خشک باقی می‌ماند (شکل ٤٥-٦ الف). سایر اشکال ریزآبیاری که برای آبیاری تک درخت بخوبی سازگاری یافته است شامل قطره‌افشان‌ها[5] (افشانک) و حبابی‌ها[6] (لوله‌های قائم کوچک قل‌زن) شکل(٤٥-٦ب) می‌باشد. حبابی‌ها (وبه‌خصوص افشانک‌ها) به حوضچه‌ی کوچک مسطح در زیرهردرخت نیازمندند.

تنظیم آب: آب معمولاً به‌وسیله‌ی لوله‌ها به مزرعه می‌رسد و از درون صافی‌هایی خاص برای حذف هرگونه خس و خاشاک و مواد شیمیایی که ممکن‌است سبب گرفتگی سوراخ‌های باریک در قطره‌چکان‌ها گردد، عبور می‌کند (برای قل‌زن‌ها از صافی گذراندن لازم نیست)، و سپس به‌وسیله‌ی شبکه‌ای از لوله‌های پلاستیک درمزرعه توزیع می‌گردد کودهای شیمیایی محلول درصورت نیاز می‌توانند به آب اضافه شوند.

در صورت مدیریت و نگهداری مناسب، ریزآبیاری امکان اداره‌ی بیشتری را بر میزان کاربرد و توزیع مکانی آب درمقایسه با دو نظام آبیاری سطحی و بارانی اعمال می‌کند. هدررفت‌های ناشی از نشت از نهر آب‌رسانی، تبخیر حاصل از قطرات در آبیاری بارانی، رواناب، زه‌کشی (بیشتر از آن‌چه برای آبشویی نمک‌ها لازم است)، تبخیر از سطح خاک و تعرق به‌وسیله‌ی گیاهان هرز می‌تواند شدیداً کاهش یافته و یا حذف شوند. درصورت نصب شبکه، نیروی کار لازم برای مدیریت شبکه متوسط می‌باشد.

ریزآبیاری معمولاً سبب تولید نباتات سالم‌تر و عملکرد زیادتر می‌شوند زیرا نبات هیچوقت دچار تنش پتانسیل اندک آب خاک و یا تهویه ضعیف در شیوه‌های آبیاری پرافراط و تفریط، با استعمال مقادیر زیاد آب در دفعات کم که با تمام نظام‌های آبیاری سطحی و بیشتر نظام‌های آبیاری بارانی همراه است، نمی‌گردد. اشکال و یا خطر دیگر در ریزآبیاری، ذخیره‌ی اندک آب در خاک در هر زمان است به‌طوری‌که کوچک‌ترین خلل در نظام در آب‌وهوای گرم می‌تواند به یک فاجعه تبدیل گردد.

تجهیزات: هزینه‌ی سرمایه‌ای برای ریزآبیاری از سایر نظام‌ها بالاتر است (جدول ۸-٦ را مشاهده کنید). اما درصورتی‌که هزینه شبکه‌های زه‌کشی برای مهار شوری و خارج‌کردن آب اضافی را در نظام سطحی و هزینه‌های پمپاژ سنگین را در آبیاری بارانی و ارزش واقعی آب تلف شده را در نظر بگیریم، تفاوت‌ها چندان زیاد نخواهد بود. به‌دلیل بازده‌ی بالای استفاده از آب، ریزآبیاری وقتی که عرضه‌ی آب اندک و گرانبهاست، و وقتی که گیاهان پرارزش مانند درختان میوه کشت می‌شوند، دارای بیشترین فایده می‌باشد.

---

1 - Central pivot
2 - Wheelmove
3 - Microirrigation
4 - Dripirrigation
5 - Spitter
6 - Bubbler

مدیریت آب آبیاری

دو مسأله عمده مدیریت آبیاری که در ارتباط با کیفیت آب آبیاری و بازده‌ی آن برای تولید محصولات نباتی می‌باشد عبارتنداز:

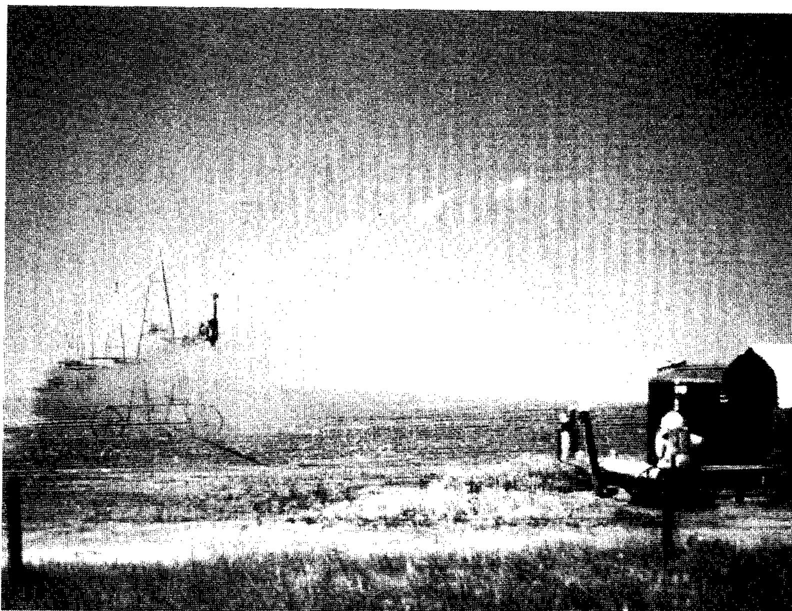
ایجاد شوری: اکثر نظام‌های آبیاری در مناطق نیمه‌خشک و خشک قرار گرفته‌اند که میزان نمک‌های محلول در آب زه‌کش، و درنتیجه در رودخانه‌ها و نهرهای آن‌ها، نسبتاً بالا می‌باشد. وقتی این آب به خاک اضافه می‌شود. و فرونشست صورت می‌گیرد نمک بیشتری از خود خاک نیز در آن حل شده و سبب شورشدن آب زهاب حتی بیشتر از آب آبیاری اولیه می‌شود. با مصرف دوباره‌ی زهاب به‌طور مکرر در پایین‌دست رودخانه، نمک تجمع یافته در آب می‌تواند برای خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکی که در آن استعمال می‌شود بسیار خسارت‌زا باشد (تابلو ۱-۱۰).

مصرف آب به‌طور مؤثر: عملیات لازم برای بالا بردن بازده‌ی استفاده از آب باید با جمع‌آوری آب از حوزه‌های آب‌خیز و پمپاژ محتاطانه از آب‌خوان‌ها شروع شود. در مرحله بعد نهرهای توزیع آب باید پوشش داشته ویا حتی بهتر، باید به‌وسیله‌ی لوله‌ها جایگزین گردد تا از تلفات عمده قبل از ورود آب به مزرعه اجتناب گردد. به‌محض رسیدن آب به مزرعه، هرکدام از زارعین باید کاراترین نظام آبیاری را که دارای سهولت اجراست انتخاب نموده و آن‌را در بالاترین کارایی نگهدارد. نظام‌های ریزآبیاری بدون شک دارای بالاترین بازده‌ی استفاده از آب می‌باشند، اما در این‌که اقتصادی‌ترین نظام برای یک موقعیت خاص باشد و یا نباشد وابسته به عوامل زیادی است.

در شرایط مزرعه، استفاده از پس‌ماندهای گیاهی و یا خاک‌پوش‌ها برای کاهش تبخیر از سطح خاک و درعین‌حال کاهش دما (بخش ۷-۱۲ را مشاهده کنید) می‌تواند سبب افزایش توان تولید و بازده‌ی استفاده از آب گردد. عاقلانه این است که آبیاری را به آن کشت‌هایی اختصاص داد که دارای محصولات پرارزش با کمترین میزان نیاز آب باشند. درحال حاضر آب زیادی برای تولید محصولات کم‌ارزش دارای نسبت تعرق زیاد (مانند گیاهان علوفه‌ای، غلات و پنبه) تلف می‌شود، که می‌توانند از مناطق دیم‌خیز بسیار اقتصادی‌تر از مناطق آبی که تمام هزینه‌های تامین آب آبیاری به‌طور واقعی به‌وسیله‌ی زارعین پرداخت می‌شود (برخلاف پرداخت یارانه که به‌وسیله‌ی دولت می‌باشد)، وارد گردند.

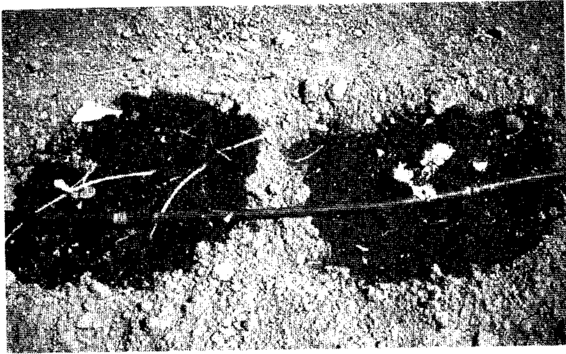
به‌همین ترتیب کوشش مالکین منازل در مناطق خشک به جای پرورش گیاهان خشکی‌پسند بیابانی و مصرف خاک‌پوش‌ها و سنگ‌ها، به حفظ چشم‌انداز مناطق مرطوب (چمن‌های سبز و بوته‌های مصرف‌کننده‌ی آب) سبب اتلاف آب می‌شود.

نهایتاً برای حفظ و ارتقاء تولیدات نباتی در مواجهه با تحلیل‌رفتن منابع آب، کاربرد آن باید بر اساس نیاز نبات که با آب‌وهوا، شاخص سطح برگ[1] و دیگر عوامل تغییر می‌کند زمانبندی شود. اصول اساسی نگهداری و حرکت آب در خاک‌ها، و استفاده از آب به‌وسیله‌ی گیاهان همان‌طورکه در این فصل و فصل قبل تشریح گردید، باید برای توسعه‌ی برنامه‌ریزی آبیاری مؤثر مورداستفاده قرار گیرد.



شکل ٤٤-٦ یک نظام آبیاری بارانی (با محور مرکزی) در کلرادو شرقی. نظام چپ‌گرد بوده (به خاک خشک در منتهی‌الیه سمت چپ توجه کنید) و محور مرکزی نظام در فاصله نیم کیلومتری قرار گرفته است. هرکدام از برج‌های خودگردان هماهنگ با دیگران حرکت می‌کند. سایه‌بان در سمت راست یک پمپ آبیاری دیزلی که آب را از آب‌خوان عمیق استخراج می‌کند پوشش می‌دهد. مخزن در کنار سایه‌بان کود شیمیایی مایع را نگهداری می‌کند که می‌تواند به‌اندازه‌ی موردنظر به‌داخل آب آبیاری وارد شود.

[1] - Leaf area index (LAI)

شکل ۴۵-۶ دو نمونه از ریزآبیاری. (سمت چپ) آبیاری قطره‌ای و یا قطره‌چکانی برای هر گیاهچه در مزرعه کلم در افریقا.(سمت راست) یک ریزافشان یا افشانک که درختی را در یک باغچه خانگی آبیاری می‌کند. در هر مورد آبیاری فقط بخش کوچکی از خاک را که در مجاورت منطقه‌ی ریشه قرار دارد مرطوب می‌کند. استعمال مقادیر اندک آب در دفعات مکرر (یک یا دو بار در روز) باعث می‌شود که منطقه ریشه به‌طور مداوم در یک میزان رطوبت بهینه نگهداری شود.

۱۲-۶ نتیجه‌گیری نهایی

چرخه آب دربرگیرنده تمامی حرکت‌های آب در سطح و یا نزدیک سطح زمین است. این چرخه به وسیله انرژی خورشیدی به‌حرکت در می‌آید و سبب تبخیر آب دریاها، خاک و پوشش گیاهی می‌شود. آب در نیوار به چرخش در آمده و به‌وسیله‌ی باران و برف به خاک و دریاها باز می‌گردد.

خاک یکی از اجزاء اساسی چرخه آب است. خاک بارندگی را از نیوار دریافت کرده، قسمتی از آن را که قبول نمی‌کند سبب ایجاد رواناب به داخل جویبارها و رودخانه‌ها شده و باقی‌مانده را جذب می‌کند که از آن پس یا به‌طرف پایین خاکرخ حرکت کرده، و به‌صورت آب زیرزمینی درمی‌آید، که یا به‌وسیله‌ی نبات جذب و بعداً به‌صورت تعرق به نیوار بر می‌گردد و یا این‌که مستقیماً از سطح خاک تبخیر شده و به نیوار می‌رسد. رفتار و حرکت آب در خاک و گیاهان تحت سیطره مجموعه‌ای از اصول یکسان می‌باشد. آب در پاسخ به اختلاف سطح انرژی از منطقه‌ای با پتانسیل آب بالا به منطقه دیگر با پتانسیل آب کم حرکت می‌کند. این اصول می‌تواند برای مدیریت آب به‌طور مؤثرتر و در بالا بردن بازده مصرف آن مورد استفاده قرار گیرند.

عملیات مدیریتی باید ضمن حذف تلفات تبخیر (E) از سطح خاک سبب تقویت حرکت آب به داخل خاک‌های دارای زه‌کشی خوب گردد. این دو هدف سبب تامین هرچه بیشتر آب در حد مقدور برای جذب به‌وسیله‌ی نباتات و تغذیه‌ی آب زیرزمینی می‌گردد. آب خاک باید نیازهای تعرق نبات (T) با سطح برگ سالم را تامین کند؛ در غیراین‌صورت رشد نبات براثر تنش آب محدود می‌گردد. عملیاتی که سبب حفظ پس‌ماندهای گیاهی و حداکثر سایه‌دهی نبات در سطح خاک می‌شود، در بدست‌آوردن بازده بالای استفاده از آب کمک می‌کنند. رطوبت بیش از حد خاک که براثر ماندابی‌بودن آب در سطح و شرایط اشباع مشخص می‌شود، یک شرط طبیعی و لازم برای بوم‌سامان‌ها در اراضی ماندابی می‌باشد، هرچند در دیگر کاربری‌های اراضی رطوبت بیش‌ازحد زیان‌باراست. بنابراین شبکه‌های زه‌کشی برای تسریع در خارج‌کردن آب اضافی و پایین‌آوردن سطح ایستابی ابداع شده‌اند تا گیاهان اراضی مرتفع بدون هیچ‌گونه تنش تهویه‌ای رشد نموده و خاک بتواند وزن و سایل نقلیه و سنگین پاها را تحمل کند.

یک میدان زه‌کشی مخزن فاضلاب همانند یک شبکه‌ی زه‌کشی اما برعکس عمل می‌کند. فاضلاب‌ها می‌توانند به‌وسیله‌ی خاک‌ها، اگر دارای زه‌کش خوب باشند، دفع و تصفیه گردند. خاک‌هایی با نفوذپذیری پایین و یا سطح ایستابی بالا ممکن است شرایط مناسبی برای ایجاد اراضی ماندابی داشته و یا محل‌هایی مناسبی برای نصب زه‌کش مصنوعی برای استفاده‌های کشاورزی باشند. اما آن‌ها معمولاً برای میدان‌های زه‌کش مخزن فاضلاب مناسب نیستند.

آب آبیاری حاصل از رودخانه‌ها و یا چاه‌ها معمولاً سبب ارتقاء رشد نبات، به‌خصوص در مناطقی که دارای بارندگی محدود هستند، می‌گردد. در اثر افزایش رقابت برای منابع آب محدود ضروری است که آبیاری‌کنندگان چنان مدیریت آب را برای حداکثر بازده اعمال کنند که بالاترین تولید بدون کمترین تلفات آب حاصل آید. این کارایی به‌وسیله‌ی عملیاتی مانند خاک‌پوش و یا ریزآبیاری حاصل می‌شود که

سبب برتری تعرق بر تبخیر باشد. همان‌طورکه عمل چرخه آب سبب تغیرات ثابت درمیزان آب خاک می‌گردد، سایر ویژگی‌های خاک نیز تحت تاثیر قرار می‌گیرند که از همه قابل توجه‌تر، تهویه و دمای خاک است که موضوع فصل بعد می‌باشد.

سووالات برای مطالعه

۱- می‌دانید که پوشش جنگلی که ۱۲۰ کیلومتر مربع از یک حوزه‌ی آب‌خیز دست‌نخورده را تشکیل می‌دهد به‌طور متوسط روزانه ٤ میلی‌متر آب را در تابستان مصرف می‌کند، و همچنین می‌دانید که خاک به‌طور متوسط دارای ۱۵۰ سانتی‌متر عمق و دارای ۰/۲ میلی‌متر آب در هر میلی‌متر عمق خاک در ظرفیت مزرعه (FC) می‌باشد. در شروع فصل، خاک کاملاً خشک بوده و دارای حدود ۰/۱ میلی‌متر آب در هر میلی‌متر عمق بود. به‌عنوان یک مدیر حوزه‌ی آب‌خیز از شما خواسته می‌شود که برآورد کنید چقدر آب به‌وسیله‌ی جویبارهایی تخلیه‌کننده‌ی حوزه‌ی آب‌خیز در طول ۹۰ روز تابستان که ٤۵۰ میلی‌متر بارندگی بر روی منطقه ریزش می‌کند خارج می‌شود. از معادله تعادل آب برای تخمین سر انگشتی تخلیه‌ی جویبارها به‌عنوان درصدی از بارندگی برحسب مترمکعب استفاده کنید.

۲- یک تصویر ساده از چرخه آب بکشید و از پیکان‌های جداگانه برای معرفی فرایندهای: تبخیر، تعرق، نفوذ، برگاب، فرونشست، رواناب سطحی و ذخیره خاک استفاده کنید.

۳- اثرات غیرمستقیم گیاهان را بر تعادل آبی از طریق تاثیر آن‌ها بر خاک تشریح کرده و مثالی ارائه دهید.

۴- اصول اساسی حاکم بر حرکت آب در زنجیره خاک گیاه و نیوار (SPAC) را بیان نموده دو مثال ارائه کنید یکی در فصل مشترک خاک - ریشه و دیگری در فصل مشترک برگ و نیوار باشد.

۵- تبخیر تعرق پتانسیل را تعریف کنید و اهمیت آن را در مدیریت آب بیان کنید.

۶- نقش تبخیر از سطح خاک (E) در تعیین بازده‌ی استفاده از آب چیست و چگونه در ET مؤثر می‌باشد سه نوع عملیات را نام ببرید که می‌تواند برای کنترل E مورد استفاده باشد.

۷- کنترل علف‌های هرز سبب کاهش تلفات آب به‌وسیله‌ی کدام فرایند می‌شود؟

۸- در مزایا و یا مضار خاک‌پوش‌های آلی درمقایسه با خاک‌پوش‌های پلاستیکی اظهار نظر کنید.

۹- خاک‌ورزی حفاظتی سبب حفاظت چه می‌شود و چگونه آن را انجام می‌دهد؟

۱۰- لایسیمتر چیست و برای چه کارهایی به‌کار برده می‌شود؟

۱۱- تحت کدام شرایط راه‌های کرم خاکی ممکن است سبب افزایش حرکت اشباع آب به طرف پایین گردیده اما تاثیر زیادی بر آبشویی مواد شیمیایی محلول مصرف شده در خاک نداشته باشد؟

۱۲- تاثیر نصب یک لوله زه‌کش مشبک در حاشیه مویینگی درست در بالاتر از سطح ایستابی در یک خاک مرطوب چه خواهد بود. طبق واژه‌های پتانسیل آب توضیح دهید.

۱۳- کدام چهره خاک ممکن است در استفاده یک منطقه برای میدان زه‌کشی فاضلاب محدودیت ایجاد کند؟

۱۴- کدام نظام آبیاری به‌نظر می‌رسد در جایی به‌کار می‌رود که: ۱- آب گران بوده و ارزش تجاری محصولات تولید شده در هکتار بالا باشد. ۲- به هزینه آب آبیاری یارانه داده شود. و ارزش محصولات که می‌تواند تولید شوند در هکتار پایین باشد؟ توضیح دهید.

زمین عریان در بهار گرم است
جولیان گرینفیلد

فصل ۷

تهویه و دمای خاک

یک اصل عمومی در بوم‌شناسی این است که هر چیزی با چیز دیگر مربوط است، این به‌هم ارتباط‌داشتن یکی از دلایلی است که خاک یک موضوع جذاب (و پرچالش) برای مطالعه باشد. در این فصل ما دو جنبه از محیط خاک، تهویه و دما را مورد بررسی قرار خواهیم داد این دونه‌تنها در ارتباط نزدیک با همدیگر می‌باشند، بلکه نهایتاً تحت تأثیر بسیاری از خصوصیات خاک قرار دارند که در فصل‌های دیگر مورد بحث قرار خواهند گرفت.

از آن‌جاکه آب‌وهوا در منافذ خاک باهم شریک می‌باشند بنابراین تعجب‌آور نیست که بسیاری از مطالبی که ما در مورد بافت، ساختمان و تخلخل خاک (فصل چهارم) و نگهداری و حرکت آب در خاک (فصل پنجم و ششم) آموختیم اثر مستقیم برروی تهویه خاک داشته باشند. این‌ها بعضی عوامل فیزیکی هستند که در وضعیت تهویه‌ی خاک مؤثر می‌باشند، اما فرایندهای شیمیایی و زیستی نیز در تهویه مؤثر بوده و خود تحت تأثیر تهویه قرار دارند.

برای رشد نباتات و فعالیت ریزجانداران و ضعیت تهویه خاک می‌تواند همان اهمیت رطوبت خاک را داشته و در برخی موارد مدیریت آن حتی مشکل‌تر باشد. در انواع استفاده‌های جنگل، مرتع، زراعت و گیاهان زینتی یکی از اهداف عمده‌ی مدیریت، نگهداری میزان بالای اکسیژن در خاک برای تنفس ریشه است. گرچه درک تغییرات شیمیایی و زیستی که با تخلیه‌ی میزان عرضه اکسیژن صورت می‌پذیرد نیز حیاتی می‌باشد.

دمای خاک دررشد گیاه و ریزجانداران، و همچنین خنک شدن و تبخیر خاک مؤثر است. حرکت و نگهداری انرژی حرارتی در خاک معمولاً مورد مسامحه قرار گرفته، اما کلید اصلی درک بسیاری از پدیده‌های مهم خاک را از صدمات خطوط لوله‌کشی و پیاده‌روهای صدمه دیده از یخ‌زدن، تا بیدارشدن فعالیت‌های زیستی بهاره در خاک دردست دارد. دماهای غیرمعمول که از آتش‌سوزی در جنگل، مرتع و اراضی زراعی حاصل می‌شود می‌تواند خصوصیات اساسی فیزیکی و شیمیایی خاک را به‌طور قابل توجه تغییر دهد.

ما خواهیم دید، افزایش دمای خاک در تهویه خاک از طریق واکنش‌های زیستی بسیار مؤثر است. این روابط داخلی در هیچ جا به اندازه‌ی اراضی باتلاقی اشباع در آب بحرانی نیست، بوم‌سامان‌هایی که در این فصل مورد توجه خاص قرار خواهند گرفت.

۱-۷سرشت تهویه خاک

تهویه عبارت از تبادل هوای خاک باعبور گازها به‌داخل و یا به‌خارج خاک می‌باشد. تهویه تعیین‌کننده‌ی میزان تبادل گازی با نیوار، نسبت فضای اشغال‌شده خاک به‌وسیله‌ی هوا، ترکیب هوای خاک و پتانسیل (توان) اکسید-احیایی در محیط خاک می‌باشد.

گازهای اکسیژن(O_2) و اکسید کربن (CO_2) همراه با آب، اجزا اصلی دو فرایند اساسی زیستی (۱) تنفس سلول‌های تمام گیاهان و جانوران و (۲) فتوسنتز (سوخت‌وساز نوری) که سبب ایجاد قند، یا سنگ بنای ساختمانی برای تمام مواد غذایی است می‌باشد. تنفس که سبب مصرف O_2 و تولید CO_2 می‌گردد، سبب اکسایش ترکیبات آلی (قند به‌عنوان یک ترکیب آلی) به‌شرح زیر می‌باشد:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O$$



طی سوخت‌وساز نوری این واکنش برعکس می‌شود. گازکربنیک و آب به‌وسیله‌ی گیاهان سبز باهم ترکیب شده، و به‌شکل قند درآمده، و گاز اکسیژن برای تنفس تمام جانداران، از جمله انسان آزاد می‌شود.

تهویه خاک یک جز بحرانی از این نظام کلی می‌باشد. برای تداوم تنفس ریزجانداران در خاک، باید اکسیژن عرضه شده و گازکربنیک از بین برود. طی فرایند تهویه تبادل این دو گاز در بین خاک و نیوار صورت می‌گیرد. در خاک دارای تهویه خوب این تبادل به‌میزان کافی سریع بوده و از کمبود اکسیژن و سمیت گازکربنیک اضافی جلوگیری می‌کند. برای اکثر گیاهان زراعی مناطق مرتفع عرضه اکسیژن در خاک باید بالاتراز ۰/۱ لیتر در لیتر باشد (در مقایسه با ۰/۲ لیتردر لیترنیوار). درمقابل غلظت CO_2 و سایر گازهای دارای پتانسیل(توان) سمیت، مانند متان، اتیلن، نباید از مقدار لازم بیشتر تمرکز یابند.

۷-۲ تهویه خاک در مزارع

قابلیت استفاده‌ی اکسیژن در مزرعه به‌وسیله‌ی سه عامل اصلی تنظیم می‌شود:

۱- تخلخل درشت خاک (که تحت تأثیر بافت و ساختمان خاک است).

۲- میزان آب موجود در خاک (در مقدار تخلخل که به‌وسیله‌ی هوا اشغال می‌شود مؤثر است).

۳- مصرف گاز O_2 به‌وسیله‌ی تنفس جانداران (از جمله ریشه‌ی گیاهان و ریزجانداران خاک).

واژه‌ی تهویه ضعیف خاک حاکی از شرایطی است که در آن قابلیت استفاده O_2 در منطقه‌ی ریشه برای رشد بهینه‌ی اکثر نباتات کافی نباشد. به‌طور شاخص تهویه‌ی ناقص، وقتی بیشتراز ۸۰ تا ۹۰ درصد فضای منافذ با آب پرشود (۱۰ تا۲۰ درصد منافذ به‌وسیله‌ی هوا اشغال شده باشند) مانع بزرگی در مقابل رشد نباتات می‌باشد. میزان رطوبت زیاد نه‌تنها منافذ اندکی برای ذخیره هوا باقی می‌گذارد اما مهم‌تر از آن، آب سبب مسدودشدن مسیرهای تبادل گازها با نیوار می‌شود. تراکم نیز می‌تواند حتی وقتی خاک خیلی مرطوب نبوده و دارای درصد زیادی از منافذ پر از هوا باشد سبب قطع تبادل گازها شود.

رطوبت اضافی

حالت شدید آب اضافی وقتی است که تقریبا تمام منافذ خاک از آب پر شده باشد، به خاک در این حالت اشباع از آب و یا ماندابی گفته می‌شود. شرایط ماندابی شاخص خاک‌های باتلاقی است، گرچه ممکن است حتی در زمان‌های خیلی کوتاه در فروافتادگی‌های مناطق مرتفع نیز به‌دنبال بارندگی‌های شدید، آبیاری بیش ازحد، و یا تراکم خاک براثر شخم‌کردن و یا ماشین‌آلات صورت پذیرد.

این اشباع کامل خاک به‌وسیله‌ی آب برای گونه‌های گیاهی که ریشه‌های آن‌ها دارای امکانات خاص برای کسب اکسیژن حتی در صورت محاصره کامل خود به‌وسیله‌ی آب می‌باشند مسأله‌ای را ایجاد نمی‌کند. به این گیاهان که چنین با زندگی در خاک‌های ماندابی تطبیق یافته‌اند گیاهان آب‌زی گفته می‌شود. برای مثال تعدادی از گونه‌های گیاهان چمنی از جمله برنج، علف گامای شرقی[1] و علف باتلاقی اسپارتینا[2] اکسیژن را برای تنفس ریشه از ساختمان‌های خالی موجود در ساقه و ریشه خود با نام بافت ارانشیم[3] به پایین انتقال می‌دهند. درخت حرا[4] (شکل ۷-۱) و سایر درختان آب‌زی[5] ریشه‌های هوایی و سایر اندام‌ها ایجاد می‌کنند که به ریشه آن‌ها امکان می‌دهد برای رشد در خاک‌های اشباع از آب، از هوا اکسیژن دریافت دارند. اکثر نباتات وابسته به عرضه اکسیژن از خاک بوده و اگر تهویه‌ی خوبی به‌وسیله‌ی زه‌کشی و یا سایر عملیات فراهم نشود به‌طور شدیدی تحت تأثیر قرار می‌گیرند(شکل ۷-۲). بعضی از گیاهان در طول چند ساعت بعد از مواجه با کمبود اکسیژن و یا سمیت سایر گازها در خاک از پا در می‌آیند.

تبادل گازها با یکدیگر

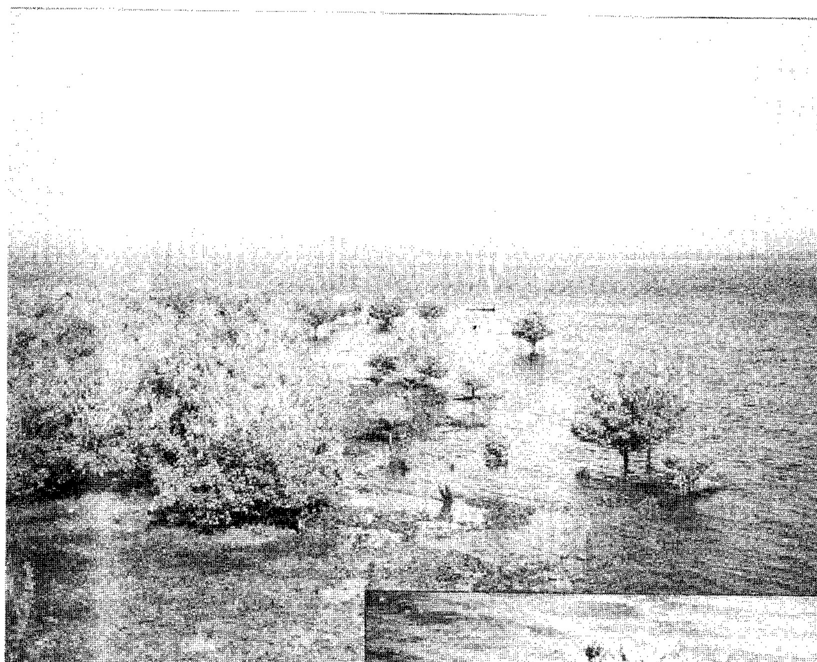
هرچه ریشه‌های گیاهان و میکروب‌ها با سرعت اکسیژن مصرف کرده و گازکربنیک آزاد کنند، نیاز به تبادل این گازها بین خاک و نیوار بیشتر می‌باشد. این تبادل به‌وسیله‌ی دو سازوکار تسهیل می‌شود، جریان توده‌ای و انتشار. جریان توده‌ای هوا در تعیین تبادل کلی بسیار کم‌اهمیت‌تر از انتشار می‌باشد. این فرایند به‌وسیله‌ی نوسانات رطوبت خاک، که سبب فشاردادن هوا به داخل و یا خارج خاک است و یا به‌وسیله‌ی باد و تغییرات فشار هوا ارتقاء می‌یابد.

---

[1] - Eastern gama grass
[2] - Spartina marsh grass
[3] - Aerenchyma
[4] - Mangrove
[5] - Hydrophytic

بخش بزرگی از تبادلات گازی در خاک به‌صورت انتشار می‌باشد. طی این فرایند هر گاز در مسیری که به‌وسیله‌ی فشار جزیی آن تعیین می‌شود حرکت می‌کند. فشار جزیی هر گاز در یک مخلوط، فشاری است که این گاز در صورت اشغال حجم تمام مخلوط به تنهایی اعمال کند. بنابراین، اگر فشار هوا یک نیوار باشد (نزدیک ۱۰۰ کیلوپاسکال) فشار اکسیژن که ۲۱ درصد حجمی هوا را تشکیل می‌دهد (۰/۲۱ لیتر در لیتر) حدود ۲۱ کیلوپاسکال است.

انتشار امکان حرکت گاز زیاد را از یک منطقه به منطقه دیگر، حتی اگر شیب فشار کلی بین مخلوط گازی در دو منطقه وجود نداشته باشد، فراهم می‌کند. گرچه برای هر گاز به‌تنهایی شیب غلظت وجود دارد که ممکن است به صورت شیب فشار جزیی بیان شود. درنتیجه‌ی غلظت بیشتر اکسیژن در نیوار سبب حرکت خالص این گاز خاص به داخل خاک خواهد شد. از آنجاکه غلظت و فشار جزیی گازهای CO_2 و بخار آب در هوای خاک از نیوار بیشتر است درجهت مخالفت با اکسیژن حرکت می‌کنند. اصول موجود در انتشار در شکل ۳-۷ ارائه شده است.



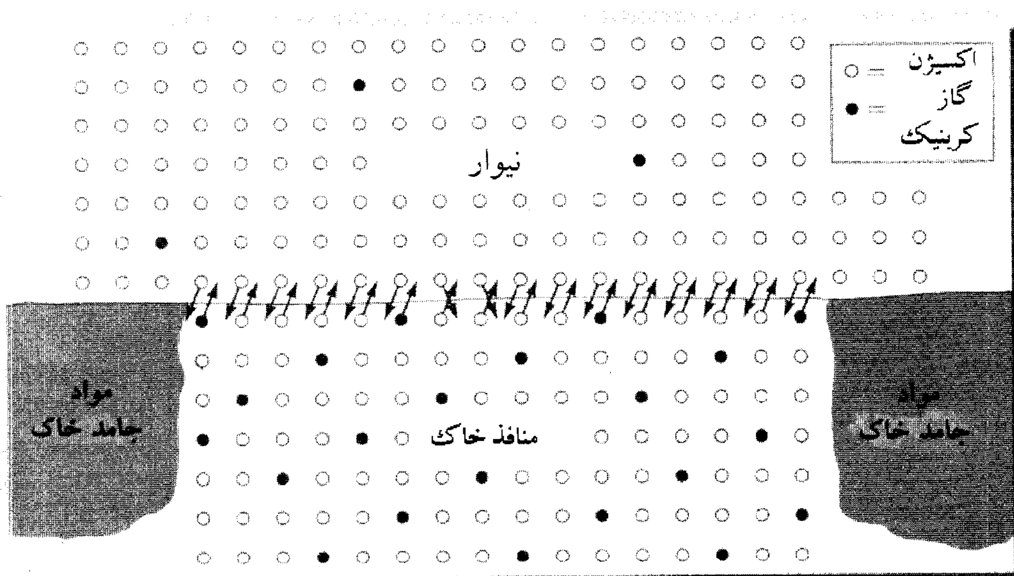


شکل ۱-۷ گیاهان نسبتاً کمی مانند این درخت حرا در طول ساحل اقیانوس هند قادرند که درخاک‌های اشباع از آب، که عملاً از اکسیژن عاری می‌باشند رشد کنند.حرا در طول مدهای بلند به‌طور نسبی مستغرق می‌شود. اما آن‌ها زانوهایی در روی ریشه هوایی خود ایجاد کرده‌اند که آن‌ها را قادر می‌سازد اکسیژن را مستقیماً از نیوار دریافت دارند. برای بقا در این محیط ابزارهایی در آن‌ها تحول یافته است که می‌تواند نمک را از آب دریا جدا سازد.





شکل ۲-۷ اکثر نباتات وابسته به خاک برای تأمین اکسیژن لازم برای تنفس ریشه خود می‌باشند. بنابراین در طول ایام خیلی کوتاه اشباع خاک که در آن اکسیژن خاک تخلیه می‌شود به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرند. (سمت چپ) چغندر قند در خاک لوم رسی متراکم وقتی خاک اشباع از آب شده است درحال خشک شدن است.(راست) درختان سرو در یک خاک شنی که در اثر سیل‌گیری منطقه به‌وسیله‌ی ایجاد سدهای سگ آبی ماندابی شده است درحال از بین رفتن هستند، جامعه جدیدی از گیاهان که با شرایط ناقص تهویه‌ی خاک تطابق دارند منطقه را به اشتغال در آورده‌اند.



شکل ۳-۷ فرایند انتشار گازها دربین منافذ خاک و نیوار. فشار کلی گاز در دو طرف مرز یکی است فشار جزیی اکسیژن در نیوار بیشتر است. بنابراین، اکسیژن تمایل دارد که به داخل منافذ خاک، که مقدار اکسیژن کمتری در واحد حجم در آن‌ها یافت می‌شود انتشار یابد، مولکول‌های گازکربنیک، از طرف دیگر به‌علت فشار جزیی بیشتر این گاز در منافذ خاک، در جهت عکس حرکت می‌کنند. این انتشار O_2 به داخل منافذ خاک و انتشار CO_2 به‌داخل نیوار تا مادامی‌که تنفس ریشه‌های خاک و ریزجانداران اکسیژن را مصرف کرده و گاز کربینیک را آزاد می‌کنند، ادامه دارد.

۳-۷ روش‌های مشخص‌کردن تهویه‌ی خاک

وضعیت تهویه خاک می‌تواند با روش‌های مختلفی مشخص شود که عبارتند از ۱- میزان اکسیژن و سایر گازها در نیوار خاک ۲- تخلخل تهویه‌ای خاک و ۳- پتانسیل اکسید - احیایی خاک (ریداکس).

ترکیب گازهای هوای خاک

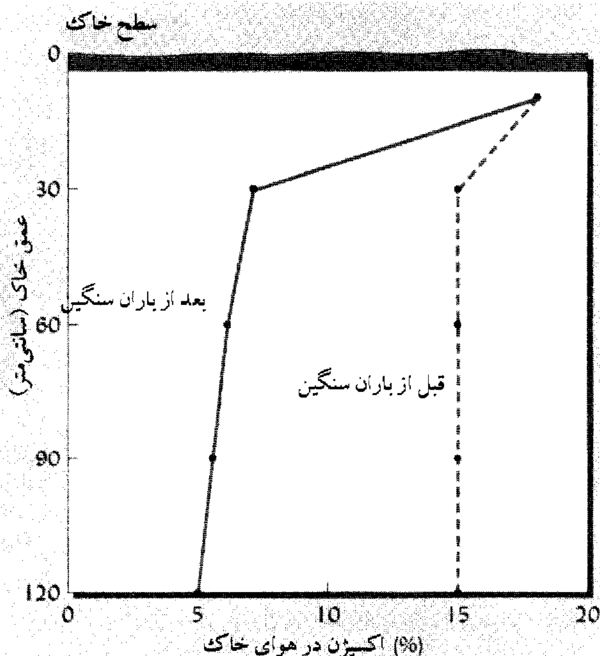
اکسیژن: نیوار در بالای خاک حدود ۲۱ درصد O_2،۰/۰۳۵ درصد CO_2 و بیشتر از ۷۸ درصد N_2 دارد. درمقایسه، هوای خاک دارای همان مقدار N_2 اما مقدار کمی O_2 و مقدار بیشتری CO_2 می‌باشد. میزان O_2 در لایه‌های فوقانی خاک با ساختمان پایدار و منافذ درشت کمی کمتراز ۲۰درصد است. این مقدار ممکن است به زیر ۵ درصد در لایه‌های پایین یک خاک با زه‌کشی ضعیف و منافذ درشت اندک و حتی نزدیک صفر برسد. وقتی عرضه‌ی O_2 عملاً تمام گردد، به محیط خاک غیرهوازی اطلاق می‌شود.

میزان اندک O_2 شاخص خاک‌های ماندابی می‌باشد. حتی در خاک‌های دارای تهویه خوب به‌دنبال یک بارندگی شدید ممکن است کاهش چشم‌گیری در میزان O_2 هوای خاک صورت گیرد. به‌خصوص اگر اکسیژن براثر فعالیت گیاهان در حال رشد و یا میکروب‌هایی که به آسانی مواد آلی موجود را تجزیه کنند به سرعت مصرف گردد (شکل ٤-۷). تخلیه اکسیژن بدین‌صورت وقتی خاک گرم باشد خیلی سریع صورت خواهد گرفت.

جای خوشبختی‌است که آب در بسیاری از خاک‌ها دارای مقادیر اندک، اما معنی‌داری از O_2 حل‌شده می‌باشد. هنگامی‌که تمام منافذ خاک به‌وسیله‌ی آب پر شوند، ریزجانداران می‌توانند اکثر O_2 حل شده در آب را برای مقاصد سوخت‌وساز خارج کنند. این مقدار اندک اکسیژن حل‌شده به‌زودی به‌مصرف رسیده و اگر آب اضافی برداشت نشود فعالیت‌های میکروبی، و همین‌طور رشد گیاهی دچار صدماتی خواهد شد.

گازکربنیک : از آن‌جاکه میزان N_2 هوای خاک نسبتاً ثابت است. رابطه‌ای عکس بین دو جزء عمده‌ی هوای خاک یعنی O_2و CO_2 برقرار است. با کاهش O_2،CO_2 افزایش می‌یابد. اگرچه اختلافات واقعی در مقدار CO_2 ممکن است زیاد نباشد اما در مقایسه معنی‌دار است. بنابراین اگر هوای خاک دارای ۰/۰۳۵ درصد CO_2 باشد، این گاز ۱۰ برابر نیوار غلیظ‌تر می‌باشد. در مواردی‌که میزان CO_2 به ۱۰درصد می‌رسد ممکن‌است این غلظت برای برخی فرایندهای گیاهی سمی باشد.

سایر گازها: هوای خاک معمولاً از نظر بخار آب بسیار بالاتر از نیوار بوده و به‌استثنای نزدیک سطح زمین (فصل ۷-۵ را مشاهده کنید)، عمدتاً اشباع می‌باشد. همچنین در شرایط ماندابی غلظت گازهایی مانند متان (CH_4) و سولفید هیدروژن (H_2S) که از تجزیه‌ی ماده‌ی آلی تشکیل می‌شوند، به‌مقدار قابل‌ملاحظه‌ای در هوای خاک بیشتر می‌باشند. گاز دیگری که به‌وسیله‌ی سوخت‌و ساز میکروبی غیرهوازی ساخته می‌شود اتیلن (C_2H_4) است. این گاز مخصوصاً برای ریشه گیاهان حتی در مقدار کمتر از ۱ میکرولیتر در لیتر (۰/۰۰۰۱ درصد) سمی می‌باشد. مشخص شده است که رشد ریشه‌ی تعدادی از نباتات هنگامی‌که میزان تبادل گاز بین نیوار و خاک پایین است، به‌وسیله‌ی اتیلن محدود می‌گردد.



شکل ٤-۷ میزان اکسیژن هوای خاک قبل و بعد از باران سنگین در خاکی که در آن پنبه کاشته شده بود. آب باران سبب جایگزینی اکثر هوای خاک گردید. مقدار اکسیژن اندک باقیمانده براثر تنفس ریشه‌ها و موجودات خاک مصرف گردید میزان گازکربنیک (نشان داده نشده است) احتمالاً به نسبت افزایش یافت.

تخلخل تهویه‌ای

در فصل ۱ (شکل ۱۷-۱)، به ترکیب مطلوب خاک برای رشد نبات اشاره شد، که شامل مخلوط حدود ۵۰:۵۰ هوا و آب در منافذ خاک و یا حدود ۲۵٪ هوا بر حسب حجمی (با فرض ۵۰ درصد تخلخل کل) می‌باشد. بسیاری از محققین معتقدند در اکثر خاک‌ها فعالیت ریزجانداران و رشد نباتات، وقتی تخلخل تهویه‌ای به زیر ۲۰ درصد تخلخل کل ویا به زیر۱۰درصد حجم کل خاک برسد (با میزان آب مربوطه‌ی بیشتر) به‌شدت محدود می‌شود.

یکی از دلایل عمده که میزان آب زیاد در خاک سبب کاهش اکسیژن برای ریشه می‌شود این است که منافذ پر شده از آب انتشار اکسیژن نیوار را به داخل خاک برای جایگرینی اکسیژن مصرف شده، مسدود می‌کنند. در واقع، اکسیژن در منافذ تهویه ای. ده هزار بار سریع‌تر نسبت به منافذ پر شده از آب (منافذ مویینه) انتشار می‌یابد.

۲-۷ پتانسیل اکسایش احیایی (ریداکس) خاک

یکی از ویژگی‌های شیمیایی خاک که در ارتباط با تهویه خاک است، وضعیت اکسایش و احیا عناصر شیمیایی در این خاک‌ها می‌باشد. اگر خاکی دارای تهویه خوب باشد حالت‌های اکسید شده همانند Fe (III) در FeOOH و N(V) در NO_3^- (نیترات) غالب می‌باشند. در خاک با تهویه ضعیف اشکال احیاء شده عناصر تشکیل می‌گردد، برای مثال Fe(II) درFeO وN(III) در NH_4^+ (آمونیوم). حضور این اشکال احیاء شده بیانگر زه‌کشی محدود و تهویه ضعیف است.

واکنش‌های اکسایش – احیاء (اکسیداسیون- احیاء)

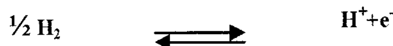
واکنشی که باتغییرحالت احیای یک عنصر به‌حالت اکسیدشده صورت می‌گیرد ممکن است به‌وسیله‌ی اکسایش آهن دوظرفیتی (Fe^{2+} و یا FeII)درFeO به آهن سه ظرفیتی(Fe^{3+} یا FeIII) نشان داده شود.



$$2\,FeO^{(2+)} + 2H_2O \rightleftharpoons 2FeOOH^{(3+)} + 2H^+ + 2e^-$$
Fe(II) — Fe (III)

توجه کنید که Fe(II) با تبدیل به Fe(III) یک الکترون را از دست می‌دهد و ین‌های H^+ در فرایند تشکیل می‌شوند. از دست‌دادن یک الکترون بیانگر این است که پتانسیل(توان) انتقال الکترون از یک ماده به ماده دیگر وجود دارد، پتانسیل اکسید-احیایی می‌تواند با استفاده از الکترود پلاتین اندازه‌گیری شود.

پتانسیل اکسید-احیایی Eh میزان تمایل یک ماده را برای قبول و یا دادن الکترون به‌دست می‌دهد.Eh معمولاً بر حسب ولت و میلی‌ولت اندازه‌گیری می‌شود. همان‌طورکه درمورد پتانسیل آب (فصل ۳-۵) گفته شد، پتانسیل اکسید-احیایی مربوط به یک حالت مرجع است. در این مورد پتانسیل اکسید-احیایی زوج هیدروژن به‌صورت قراردادی صفر فرض می‌شود.



$$\tfrac{1}{2}\,H_2 \rightleftharpoons H^+ + e^-$$

اگر ماده‌ای به آسانی الکترون قبول کند، به‌عنوان عامل اکسیدکننده نامیده می‌شود و اگر ماده‌ای الکترون به آسانی عرضه کند، عامل احیاکننده نام دارد.

نقش اکسیژن (O_2)

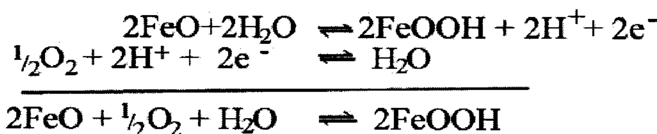
از آنجاکه گاز اکسیژن O_2 از بسیاری از عناصر به‌سرعت الکترون دریافت می‌دارد نمونه‌ی بسیارمهمی از یک عامل اکسیدکننده می‌باشد. تمام تنفس‌های هوازی نیازمند O_2 به‌عنوان یک قبول‌کننده الکترونی می‌باشد، مانند موجودات زنده، که سبب اکسیدکردن کربن آلی برای آزادکردن انرژی حیاتی می‌باشد.

اکسیژن می‌تواند هم مواد آلی و هم معدنی را اکسیده کند. درنظر داشته باشید گرچه این عنصر(O_2) سبب اکسایش عنصر دیگر می‌گردد خود در عوض احیاء می‌شود این فرایند احیاء می‌تواند در واکنش زیر مشاهده گردد.



$$\tfrac{1}{2}\,O_2^{(0)} + 2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons H_2O^{(-2)}$$

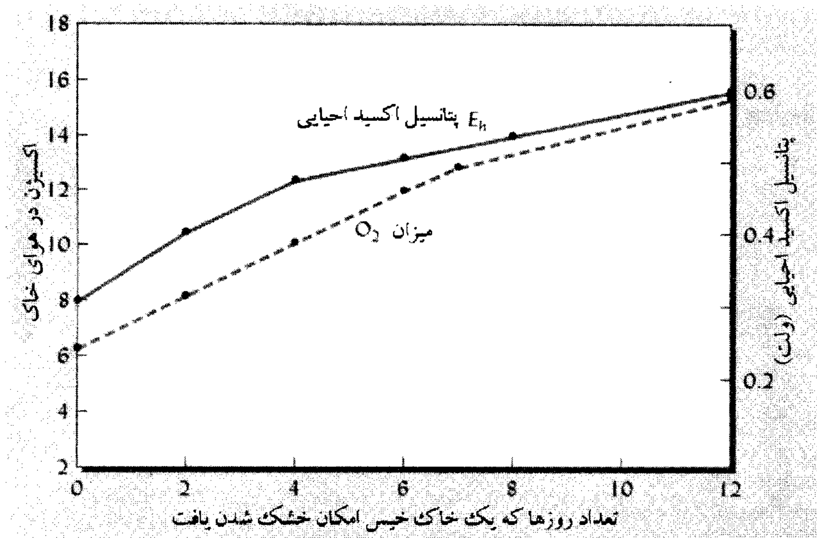
توجه کنید که اتم اکسیژن با بار صفر در O_2 دو الکترون دریافت می‌دارد و بار منفی ۲ را وقتی به صورت بخشی از مولکول آب درمی آید به‌دست می‌آورد، این دو الکترون همان‌طورکه در واکنش قبل نشان داده شد، می‌تواند به‌وسیله‌ی دو مولکول FeO که اکسیده می‌گردد، ارائه شود. اگر دو معادله را با هم ادغام کنیم، می‌توانیم اثر کلی اکسایش و احیا را مشاهده کنیم.



$$2FeO + 2H_2O \rightleftharpoons 2FeOOH + 2H^+ + 2e^-$$
$$\tfrac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons H_2O$$
$$2FeO + \tfrac{1}{2}O_2 + H_2O \rightleftharpoons 2FeOOH$$

دادن و گرفتن الکترون‌ها (e) و یُن H^+ در هر دو طرف معادله یکدیگر را متعادل کرده، و بنابراین در واکنش ادغام شده دیده نمی‌شوند اما هردو برای واکنش‌های خاص اکسایش- احیاء (اکسیداسیون- احیاء) خیلی مهم می‌باشند.

پتانسیل اکسید-احیایی Eh یک خاک وابسته به حضور قبول‌کننده‌های الکترون (اکسیژن و دیگر عوامل اکسیدکننده) و pH می‌باشد. رابطه‌ی مثبت در یک خاک بین میزان O_2 هوای خاک و Eh درشکل ۵-۷ نشان داده شده است. در یک خاک با تهویه‌ی مناسب Eh در فاصله ۰/٤ تا ۰/۷ ولت (v) می‌باشد. با کاهش تهویه وقتی اکسیژن گازی به اتمام می‌رسید Eh کاهش یافته و به میزان ۰/۳ تا ۰/۳۵ ولت می‌رسد، درشرایط ماندابی در خاک‌های گرم غنی از ماده‌ی آلی میزان Eh پایین درحد ۰/۳- ولت می‌تواند یافت گردد.



شکل ۵-۷ رابطه‌ی بین میزان اکسیژن هوای خاک و پتانسیل اکسید- احیایی(Eh). اندازه‌گیری‌ها در عمق ۲۸ سانتیمتر یک خاک، که به‌طور مداوم ۱٤ روز قبل از خشک‌شدن آبیاری گردیده بود انجام شده است. به رابطه‌ی کلی بین این دو عامل توجه کنید.

سایر قبول‌کننده‌های الکترون

سایر عناصر علاوه براکسیژن می‌توانند به‌عنوان قبول‌کننده الکترون نهایی (اکسیدکننده) عمل کنند برای نمونه N(V) در نیترات وقتی به N(III) احیاء می‌شود، الکترون قبول می‌کند.



$$\underset{N(V)}{NO_3 + 2e^- + 2H^+} \rightleftharpoons \underset{N(III)}{NO_2 + H2O}$$

واکنش‌های مشابهی در مورد احیاء و یا اکسایش Fe و MN و S (شکل٦-۷ را مشاهده کنید) وجود دارد. اثر pH بر پتانسیل اکسید-احیایی در چند واکنش مهم که در خاک صورت می‌گیرد در شکل ٦-۷ نشان داده شده است. توجه کنید که در تمام موارد با افزایش pH از ۲ به ۸ ، Eh کاهش می‌یابد. از آنجا که هردو شاخص pH و Eh به آسانی قابل اندازه‌گیری می‌باشند، خیلی مشکل نخواهد بود که معلوم کنیم در خاک مورد نظر واکنش خاص احتمالاً صورت خواهد گرفت. برای مثال در pH ٦ لازم است Eh مقداری کمتر از ۰/۵+ ولت باشد تا سبب احیاء نیترات به نیتریت و حدود ۰/۲+ ولت برای احیاء FeOOH به ین Fe^{2+} گردد. برای تشکیل متان در یک خاک ماندابی درهمان pH مقدار Eh ۰/۲- ولت موردنیاز خواهد بود.

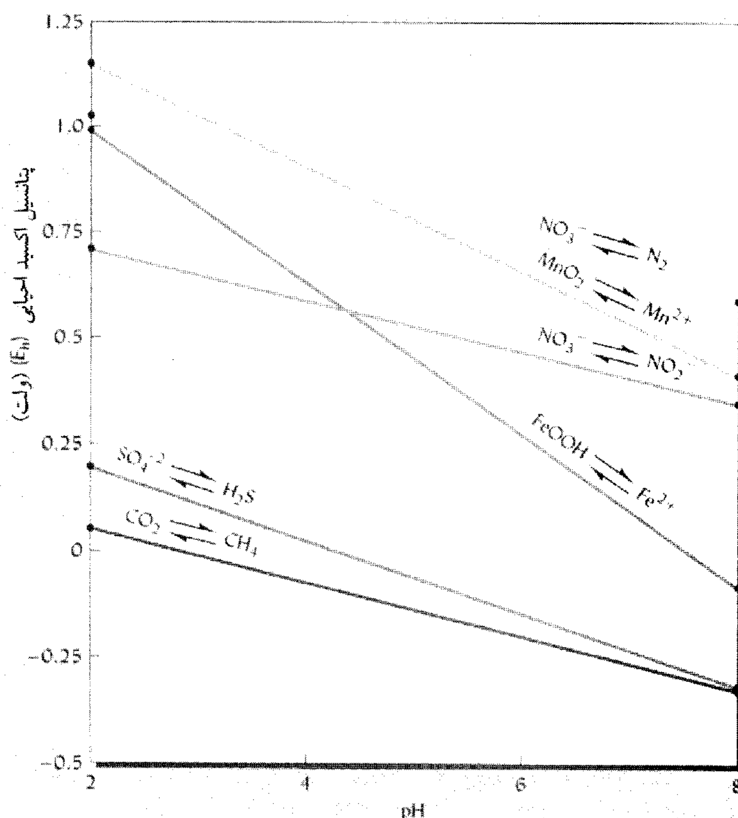
میزان Eh که در آن واکنش‌های اکسایش – احیاء صورت می‌گیرد با ماده‌ی شیمیایی خاص، که باید اکسید و یا احیاء شود، متغیر می‌باشد. در جدول۱-۷ اشکال اکسید شده و احیاشده چند عنصر مهم در خاک، همراه با پتانسیل اکسید-احیایی تقریبی که درآن واکنش اکسایش – احیاء صورت می‌گیرد مشخص شده است. مقادیر Eh، توالی وقوع واکنش‌هایی را که وقتی یک خاک دارای تهویه مناسب از آب اشباع می‌شود تشریح می‌کند.

تنفس ابتدا سبب کاهش غلظت O_2 موجود در هوای خاک و حل شده درآب خاک می‌شود. وقتی غلظت این قبول‌کننده‌ی الکترون کاهش می‌یابد، پتانسیل اکسید احیایی کاسته می‌شود. از آن‌جاکه O_2 در Eh حدود ۰/۳۸~۰/۳۲ ولت به آب احیاء می‌شود، وقتی پتانسیل

اکسید-احیایی خاک به این مقدار برسد، خاک از O_2 تخلیه می‌گردد. در مقادیر Eh پایین‌تر تنها ریزجاندارانی می‌توانند ایفای نقش کنند که عناصر دیگری غیر از اکسیژن را به‌عنوان قبول‌کننده الکترون در سوخت‌وساز خود مصرف کنند.

آسان‌ترین عنصر احیاء شده بعدی N(V) موجود در نیترات (NO_3^-) می‌باشد، اگر خاک دارای نیترات زیاد باشد. Eh به حدود۰/۲۸-۰/۲۲ ولت با احیاء نیترات باقی می‌ماند. وقتی تمام نیترات از بین رود ((N(V) به N(III) وسایر گونه‌های N تبدیل شود)، Eh بازهم کمتر می‌شود. در این نقطه جاندارانی که قادر به احیاء Mn هستند فعال می‌گردند الی آخر. بنابراین با کاهش مقدار Eh عناصرN و Mn وFe و S (در$SO4^{-2}$) و C (در CO_2) الکترون قبول کرده ومطابق ردیف مربوطه در جدول ۱-۷ احیاء می‌شوند.

به‌عبارت دیگر Eh خاک باید قبل از تولید متان به صفر یا کمتر آورد شود، اما Eh در فاصله‌ی ۰/۲۸-۰/۲۲ ولت برای احیاء نیترات به اندازه کافی پایین است. بنابراین تهویه‌ی خاک تعیین‌کننده‌ی گونه‌ی شیمیایی خاص موجود، و همچنین قابلیت استفاده، تحرک و سمیت احتمالی عناصر مختلف در خاک می‌باشد.



شکل ٦-۷ اثر pH برروی پتانسیل اکسید- احیایی Eh ، که در آن چندین واکنش مهم اکسایش و احیا درخاک صورت می‌گیرد.

جدول ۱-۷ اشکال اکسید و احیا شده‌ی عناصر مشخص در خاک و پتانسیل اکسید-احیایی (Eh)که در آن تغییرشکل درpH ٦/۵ انجام می‌گیرد. توجه کنید که اکسیژن گازی در فاصله‌ی Eh ۰/۳۸-۰/۳۲ ولت تخلیه می‌شود.درEH پایین‌تر، ریزجانداران از عناصر دیگری غیراز اکسیژن به‌عنوان قبول‌کننده‌ی الکترون در سوخت‌وساز خود استفاده می‌کنند. با دادن الکترون آن‌ها این عناصر را به ظرفیت حالت احیا تغییر می‌دهند.

شکل اکسید شده	شکل احیا شده	EH در آن تغییر شکل صورت می‌گیرد(ولت)
O_2	H_2O	0.38 – 0.32
NO_3^-	N_2	0.28 – 0.22
Mn^{4+}	Mn^{2+}	0.22 – 0.18
Fe^{3+}	Fe^{+2}	0.11 – 0.08
$SO4^{2-}$	S^{2-}	-0.17 تا -0.14
CO_2	CH_4	-0.28 تا-0.20

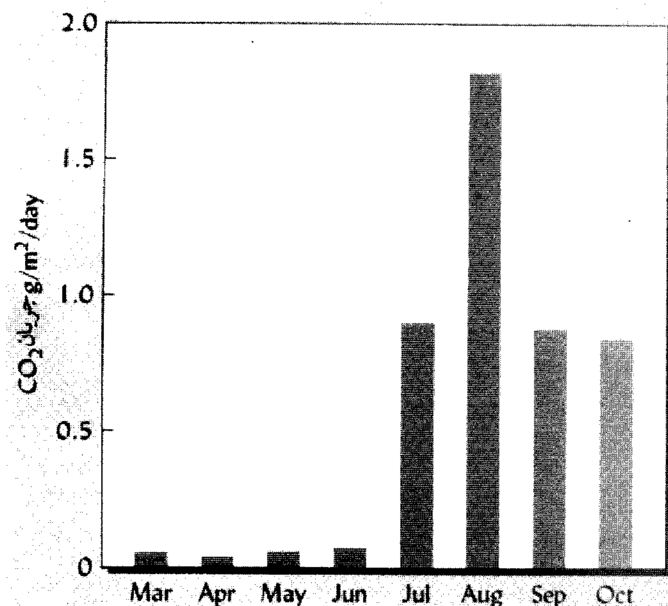
۵-۷ عوامل مؤثر در تهویه‌ی خاک

زه‌کشی آب اضافی

زه‌کشی آب ثقلی به خارج از خاکرخ، و انتشار همزمان هوا به داخل خاک با بیشترین سهولت در منافذ درشت صورت می‌گیرد. مهم‌ترین عوامل مؤثر در تهویه‌ی خاک‌های دارای زه‌کشی مناسب عواملی هستند که حجم منافذ درشت خاک را مشخص می‌کنند. مقدار منافذ درشت مشخصاً در حجم کل هوای خاک، و همچنین تبادل گازی و فعل و انفعالات زیستی خاک تأثیرگذار است. بافت خاک، وزن مخصوص ظاهری، ثبات خاکدانه‌ها و میزان ماده‌ی آلی و تشکیل منافذ زیستی جزءخصوصیاتی از خاک می‌باشندکه برای تعیین میزان خلل و فرج درشت، و درنتیجه تهویه خاک نقش دارند.

میزان تنفس درخاک

غلظت هردو گاز اکسیژن و گازکربنیک، مشخصاً تحت تأثیر تجزیه‌ی میکروبی بقایای آلی می‌باشند. مخلوط‌کردن مقادیر زیادی کود آلی، پس‌مانده‌های گیاهی و لجن فاضلاب ممکن است به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای در ترکیب هوای خاک تغییر ایجاد کند. به‌همین ترتیب چرخه‌ی پس‌مانده‌های گیاهی براثر ریزش برگ، تجزیه‌ی توده ریشه و ترشحات ریشه در بوم‌سامان‌های طبیعی مواد لازم را برای فعالیت میکروبی را فراهم می‌کنند، همچنین تنفس به‌وسیله‌ی ریشه نبات و تنفس ارتقاء یافته به وسیله‌ی جانداران در نزدیکی ریشه‌ها فرایندهای مهمی می‌باشند (شکل۷-۷). تمام این فرایندها با افزایش دما به مقدار بسیار زیادی ارتقاء پیدا می‌کنند (بخش ۹-۷ را مشاهده کنید).



شکل ۷-۷ میزان حرکت CO_2 (شدت جریان) از سطح یک خاک در بوم‌سامان جنگل سخت چوب شمالی در نیویورک. به‌شدت جریان بالا از ژوییه تا اکتبر، وقتی رشد گیاهی و فعالیت میکروبی در بیشترین مقدار است، توجه کنید.

خاک زیر درمقایسه با خاک سطح

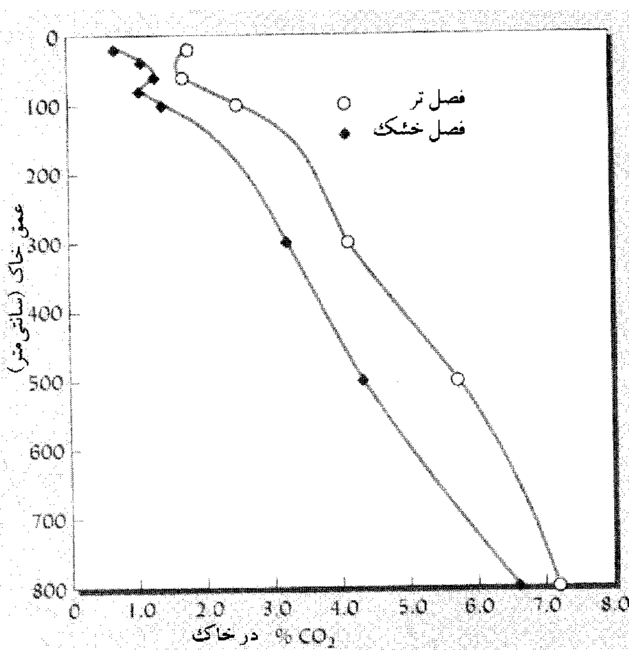
خاک زیر معمولاً دارای کمبود بیشتر اکسیژن در مقایسه با خاک سطح می‌باشد. نه‌تنها میزان آب آن معمولاً زیادتر(در اقالیم مرطوب)، بلکه حجم کل منافذ و همین‌طور حجم منافذ درشت در لایه‌های زیر کمتر است. به‌علاوه، مسیر انتشار گازها به داخل و خارج خاک برای افق‌های عمیق طولانی‌تر می‌باشد. هرچند اگر عرضه‌ی مواد آلی در خاک زیر کم باشد، ممکن است هنوز دارای حالت هوازی باشد. به این دلیل در خاک‌های تازه غرقاب شده، در ۵۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متری فوقانی حالت غیرهوازی وجود داشته و در عمق بیشتر هوازی می‌باشد.

در بعضی مناطق جنگلی و در باغ‌های میوه، ریشه‌ی درختان به‌داخل لایه‌های زیرین با میزان اکسیژن اندک و گازکربنیک زیاد به‌خصوص اگر خاک رسی باشد، توسعه می‌یابد. میزان گازکربنیک در حدود ۱۵٪ (۱۵۰ میلی‌لیتر در لیتر) در بعضی از این خاک‌های تحت‌الارضی مشاهده شده است. مطالعات در خاک‌های عمیق خیلی هوا دیده در زیر جنگل‌های بارانی گرمسیری بیانگر این است که همراه با انجام تنفس غلظت گازکربنیک تا عمیق‌ترین لایه تحت‌الارضی، به افزایش ادامه خواهد داد (شکل ۸-۷).

ناهمگنی خاک

خاکرخ : همان‌طورکه از شکل ۳-۷ و۸-۷ مشاهده می‌شود، وضعیت تهویه در مناطق مختلف خاک بسیار متغیر می‌باشد. در خاک‌های دارای زه‌کشی خوب و با یکنواختی تقریباً یکسان، روند بیانگر کاهش O_2 و افزایش CO_2 با افزایش عمق در خاکرخ است. هرچند، مناطق دارای تهویه ناقص در هر افقی از خاک دارای زه‌کشی و تهویه خوب ممکن است یافت گردد.

خاک‌ورزی: یکی از علل ناهمگنی خاک، خاک‌ورزی است که دارای اثرات کوتاه مدت و طولانی‌مدت بر تهویه خاک می‌باشد.در کوتاه‌مدت، به‌هم‌زدن خاک اغلب سبب خشک‌شدن سریع‌تر آن و مخلوط‌کردن مقادیر بیشتری هوا با خاک می‌شود، این اثرات به‌ویژه در خاک‌های تقریباً متراکم با بافت ریز، عکس‌العمل سریع رشد گیاه بلافاصله پس از زدن هرس برای دفع علف‌های هرز و یا در شیار قراردادن[1] کودشیمیایی آشکار است. هرچند در طولانی‌مدت، عملیات خاک‌ورزی ممکن است سبب کاهش تخلخل درشت گردد (بخش٦-٤ را مطالعه کنید).



شکل ۸-۷ تغییرات در غلظت هوای خاک در ارتباط با عمق خاکرخ دریک خاک هاپلواستوکس[2] درجنگل بارانی گرمسیر در منطقه آمازون برزیل. منبع ایجاد CO_2 احتمالاً ترکیبی از تنفس ریشه نباتات و میکروب‌ها بود. گرچه بالاترین میزان تولید CO_2 در لایه‌های فوقانی خاک بود، گاز تولیدشده در آن‌جا فاصله‌ی کوتاهی برای رسیدن به نیوار داشت چه، دارای منافذ درشتی برای انتشار در داخل خاک بود. غلظت CO_2 با افزایش عمق افزایش یافته زیرا فاصله بیشتر انتشار به نیوار و تخلخل درشت بسیار کمتر در عمق سبب حرکت کند گازها و تمرکز CO_2 گردید،

منافذ درشت: مناطقی با تهویه‌ی ناقص ممکن است در یک خاک بافت سنگین، و یا لایه متراکم خاک حاصل گردد و یا ممکن‌است به‌طور ساده در داخل واحدهای خاک (واحدهای ساختمانی) قرار داشته، و ریزبودن منافذ سبب محدودیت تبادل آسان هوا گردد (شکل ۹-۷). در خاک‌ها با زه‌کشی خوب، منافذ درشت (شیارها) بین واحدهای خاک و ریشه راه‌های قدیمی در خاک تحت‌الارضی ممکن است به‌طورمتناوب از آب پر شده، و سبب ایجاد مناطقی با تهویه‌ی ضعیف گردد. در خاک‌های اشباع این منافذ درشت ممکن است اثرات برعکس داشته باشند، زیرا آن‌ها انتشار O_2 را به‌داخل خاک در طول ایام خشک شدن تسهیل می‌کنند.

ریشه نباتات: به‌همین ترتیب، ریشه گیاهان درحال رشد ممکن‌است بلافاصله در پیرامون خود سبب کاهش و یا افزایش غلظت O_2 گردند، در خاک با زه‌کشی نسبتاً ضعیف تنفس نباتات در اراضی مرتفع ممکن است O_2 را از خاک مجاور تخلیه کند (همان‌طور که در تابلو شماره ۱۹ رنگی دیده می‌شود). برعکس، گیاهان آب‌دوست دارای بافت ارانشیم[3] ممکن است O_2 اضافه را به ریشه خود انتقال دهند و امکان انتشار بعضی از آن‌را به داخل خاک و ایجاد یک منطقه اکسایش در خاک غیرهوازی فراهم کنند (تابلو شماره‌ی۲۰ رنگی را مشاهده کنید). با این دلایل ممکن است واکنش‌های اکسایش در فاصله‌ی چند سانتی‌متری و یا میلی‌متری از سایر مناطق دارای شرایط احیاء صورت گیرد. این ناهمگنی در تهویه خاک را باید در تلاش برای فهم نقش خاک در چرخه‌ی عناصر، و تأثیر بر بوم‌سامان در خاطر داشته باشیم.

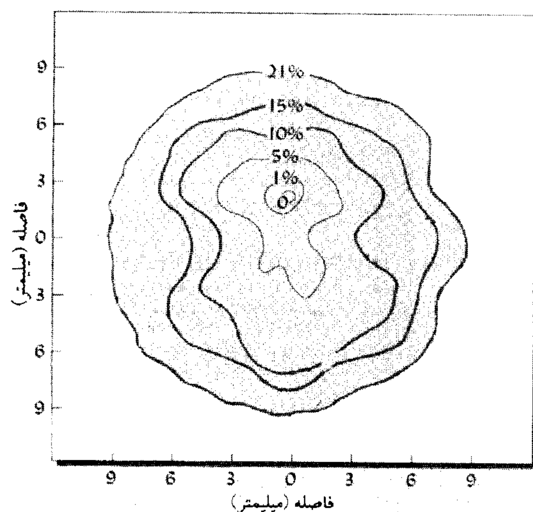
1 - Knife in
2 - Haplustox
3 - Aerenchyma

اختلافات فصلی

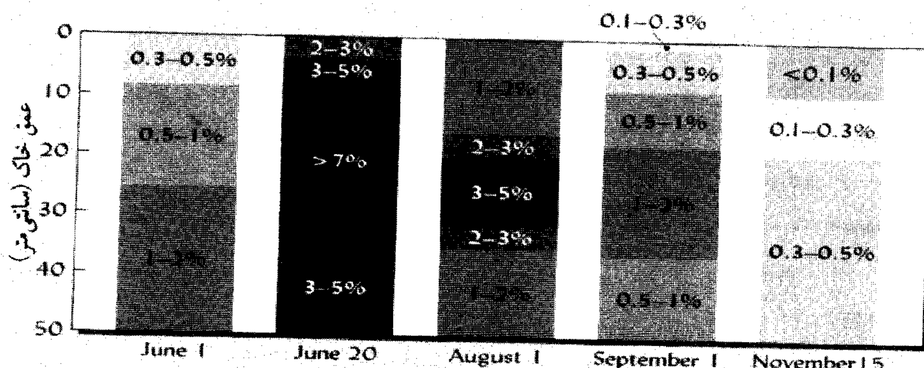
تغییرات مشخصی در ترکیب هوای خاک وجود دارد. در ایام بهار در مناطق مرطوب خاک‌ها معمولاً خیس و سرد بوده و امکـان تبـادل گازی ضعیف است اما به‌دلیل دمای پایین خاک، تنفس ریشه گیاهان و زیواچه‌های خاک محدود می‌باشـد. بنـابراین اسـتفاده از اکسـیژن و آزادشدن گازکربنیک نیز محدود است. در ماه‌های تابستان میزان رطو بت خاک پایین است و امکان تبادل گازی افـزایش مـی‌یابـد. هرچنـد دمای بسیار مناسب سبب تقویت تنفس شدیدتر ریشه‌ها و ریزجانداران (تجزیه‌ی پس‌مانده‌های گیاهی) وآزادشـدن مقـادیری قابـل‌تـوجهی گازکربنیک می‌شود. این مطلب در شکل ۱۰-۷ ، که مقدار گاز اکسید کربن را در یک خاک الفی‌سول در ایالت میسوری در طول رشد ذرت و بعدها در اول زمستان نشان می‌دهد، تشریح شده است.

اثرات پوشش گیاهی

علاوه بر اثرات تنفس ریشه‌ی نباتات که قبلاً اشاره شد،پوشش گیاهی ممکن است با برداشت مقادیر زیاد آب طی فرایند تعرق بر تهویه خاک تأثیر گذارد، به‌طوری‌که سبب پایین‌بردن سطح آب زیرزمینی در بعضی از خاک‌های دارای زه‌کشی ناقص گردد. اطلاعات موجـود در جدول ۲-۷ این تأثیر را در جنگل کاج نشان داده است. اثرات عمق خاک و فصل نیز آشکار است.



شکل ۹ـ۷ نقشه‌ای‌که میزان اکسیژن هوای خاک را در یـک واحد ساختمانی خیس در خاک اکویک هاپلودول[1] (لـوم رسی سیلتی موسکاتین) در ایالـت ایـوا نشـان مـی‌دهـد. اندازه‌گیری‌ها با یک ریـز الکتـرود منحصـربه‌فـرد انجـام گرفت. توجه کنید که میزان اکسیژن نزدیک مرکز کلوخـه صفر، و درحـالی‌کـه نزدیـک حاشـیه ۲۱درصـد اسـت. بنابراین، محدوده‌هایی از کمبود اکسیژن در یک خاک کـه میزان اکسیژن کل آن پایین نیست می‌تواند یافت گردد.



شکل ۱۰ـ۷ تغییرات فصلی در میزان گازکربنیک در ۵۰ سانتی‌متری یک خاک الفی‌سول در میسوری که در آن از اوایل می‌تا اول سـپتامبر ذرت کشـت شده بود. در ۲۰ ژوئن ذرت در شدیدترین حالت رشد بود. میزان رطوبت هنوز بالا و میزان CO_2 در عمق ۱۰ـ۳۰ سانتی‌متر به بیش از ۷ درصد رسید. در اول اوت تبادل گازها احتمالاً افزایش یافته و میزان CO_2 به ۵ـ۳ درصد در عمق ۳۰ـ۲۰ سانتی‌متر رسید گرچه همین میزان ۱۰۰ برابر غلظت CO_2 نیوار است. در ۱۵ نوامبر فعالیت نبات و زیواچه‌های خاک به‌دلیل دمای پایین کاهش‌یافت و میزان CO_2 درپایین ۲۰ سانتی‌متر خاک فقط ۱۰ برابر نیوار بود

[1] - Aqiuic Hapludoll(Muscatine silty clay loam)

۶ـ۷ اثرات بوم‌زیستی تهویه‌ی خاک

اثر بر تجزیه‌ی بقایای آلی

تهویه‌ی خاک بر بسیاری از واکنش‌های خاک، و درنتیجه، بر بسیاری از خصوصیات آن تأثیرگذار است. بارزترین این واکنش‌ها با همراهی فعالیت میکروبی انجام می‌گیرد. تهویه ضعیف میزان تجزیه را کاهش داده و با تراکم نسبتاً زیاد ماده‌ی‌آلی درخاک‌ها دارای زه‌کش ضعیف آشکار می‌گردد.

سرشت و همین‌طور میزان فعالیت میکروبی به وسیله‌ی میزان O_2 (خاک) رقم زده می‌شود وقتی O_2 حاضر باشد، موجودات هوازی فعال بوده و فعالیت‌های اکسایش همانند آن‌چه که در قبل ذکر شد صورت می‌گیرند.

در نبود اکسیژن گازی (O_2)موجودات غیرهوازی ایفای نقش می‌نمایند. تجزیه، به‌مقدار کمتر در واکنش‌هایی همانند آن‌چه در زیر می‌آید صورت می‌گیرد (بخش ۲ـ۱۲را برای جزییات بیشتر مشاهده کند).

$$\underset{\text{قند}}{C_6H_{12}O_6} \longrightarrow \underset{\text{اتانول}}{2CO_2+2CH_3CH_2OH}$$

بنابراین، خاک‌های دارای تهویه نامناسب دارای انواع متنوع محصو لات با تجزیه‌ی نسبی مانند گاز استلن (C_2H_4)، الکل‌ها و اسیدهای آلی بوده که بسیاری از آن‌ها برای گیاهان عالی و موجودات تجزیه‌کننده سمی می‌باشند. این اثر آخری علت تشکیل هیستوسول‌ها در مناطق مرطوب می‌باشد که در آن‌ها محدویت تجزیه سبب تشکیل لایه‌های ضخیم ماده‌ی آلی می‌گردد. به‌طورخلاصه، حضور یا عدم حضور گاز اکسیژن سرشت فرایندهای تجزیه و اثر آن‌ها را بروی رشد نبات به‌طور کامل تغییرمی‌دهد.

جدول۲ـ۷ اثر عملیات برداشت درخت با کمترین تراکم در تهویه‌ی خاک در رژیم حرارتی در جنگل کاج نیمه‌گرمسیری از هنگام بریدن درختان کاج لابلالی ۵۵ ساله، تبخیروتعرق سایه‌اندازی کاهش یافته و سبب بالاآمدن سطح آب زیرزمینی، کاهش پتانسیل اکسید-احیایی و افزایش دمای گرم بهاره شد. فرایند آخری سبب تقویت مصرف اکسیژن به‌وسیله‌ی میکروب‌ها و کاهش هرچه بیشترEh در خاک ورتیک اکراکوالف[1] گردید. توجه کنید پتانسیل اکسید-احیایی در دماهای گرم‌تر در بهار کمتر بوده، هرچند خاک در بهار به اندازه زمستان مرطوب نبود.

تیمار	درصد مدت اشباع	دمای خاک c^0		Ehخاک(ولت)	
		زمستان	بهار	زمستان	بهار
اندازه گیری در عمق ۵۰ سانتی‌متری					
جنگل کاج به‌هم نخورده	۳۱	۱۱/۸	۱۸/۳	۰/۸۳	۰/۶۵
جنگل کاج برداشت شده بدون تراکم	٦٤	۱۱/۷	۲۰/۵	۰/۵۱	۰/۱۱
اندازه گیری در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری					
جنگل کاج به‌هم نخورده	٥٤	۱۳/۳	۱۷/۳	۰/۸۳	۰/٤۹
جنگل کاج برداشت شده بدون تراکم	٤٦	۱۳/۲	۱۸/۷	۰/٥٤	۰/۲۲

اکسایش و احیاء عناصر

عناصر غذایی : میزان اکسیژن خاک از طریق تأثیر بر پتانسیل اکسید-احیایی، اشکال متعدد عناصر معدنی را مشخص می‌کند. همان‌طورکه در جدول ۳ـ۷ آمده است. حالت اکسید شده ازت و گوگرد به آسانی به‌وسیله‌ی گیاهان عالی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به‌طورکلی، شرایط اکسایش برای تغذیه آهن و منگنز به‌وسیله‌ی اکثر نباتات در خاک‌های اسیدی منطقه مرطوب مطلوب است، زیرا اشکال احیاء شده این عناصر در این خاک‌ها چنان محلولندکه ممکن‌است سبب ایجاد سمیت گردد. هرچند، احیاء آهن تا حدی ممکن است مفید باشد زیرا سبب آزاد شدن فسفر از ترکیبات نامحلول فسفات آهن می‌گردد. این چنین آزادشدن فسفر در خاک‌های اشباع و یا در رسوبات قرار گرفته در زیر آب غنی‌شدن را سبب می‌گردند (بخش ۲ـ۱٤را مشاهده کنید). در مناطق خشک‌تر عکس قضیه معمولاً صادق است و اشکال احیاءشده آهن

---

[1] - Vertic Ochraqualfs

و منگنز ترجیح داده می‌شوند. درخاک‌های خنثی ویا قلیایی مناطق خشک، اشکال احیاء شده‌ی آهن و منگنز در ترکیبات بسیار نامحلول نگهداری شده و کمبود این عناصر را به بار می‌آورند. این اختلافات تعامل تهویه وpH خاک را در تأمین عناصر قابل‌استفاده‌ی نبات تشریح می‌کند (فصل ۱۵ رامشاهده کنید).

سایر عناصر : پتانسیل اکسید-احیایی، گونه‌های عناصر سمی مانند کرم، ارسنیک و سلنیم را مشخص کرده و اثر آن‌ها بر محیط‌زیست و زنجیره‌ی غذایی به‌طور آشکار مؤثر می‌باشد (بخش۷ـ۱۸ را مشاهده کنید).

رنگ خاک: همان‌طورکه در بخش ۱ـ٤ تشریح گردید، رنگ خاک به‌طور آشکار تحت تأثیر حالت اکسایش آهن و منگنز می‌باشد. رنگ‌هایی مانند قرمز، زرد و قهوه‌ای مایل‌به قرمز از خصوصیات خاک‌های دارای اکسایش مناسب است. بعضی از رنگ‌های آرام مانند خاکستری و آبی، چنان‌چه اکسیژن ناکافی باشد، غالب خواهند بود. رنگ خاک می‌تواند در روش‌های صحرایی برای تعیین حالت زه‌کشی اراضی مورد استفاده قرار گیرد. خاک‌های دارای زه‌کشی ناقص با توجه به رگه‌های متناوب مواد اکسیدشده و یا احیاءشده مشخص می‌شوند (تابلوهای ۱۵و۱۸ را مشاهده کنید). این شرایط ماتلینگ[1] بیانگر محدوده‌ی دارای تناوب تهویه خوب و بد می‌باشد. این شرایط برای رشد مناسب نباتات مطلوب نیستند.

تولید متان: تولید ترکیب آلی متان در خاک‌های مستغرق دارای اهمیت جهانی می‌باشد، زیرا این گاز یکی از عوامل تأثیرگذار بر اثرات گلخانه‌ای گرم‌شدن کره‌ی زمین است (بخش۱۱ـ۱۲را مشاهده کنید) و غلظت سالانه‌ی آن به مقدار یک‌درصداز سال ۱۹۸۰ افزایش یافته است. گاز متان از احیاء گازکربنیک به دست می‌آید و تشکیل آن وقتی صورت می‌گیرد که Eh به مقدار ۲۰/ ـ ولت نزول یابد، شرطی که در اراضی باتلاقی و شالیزارها معمول است. برآورد می‌شود که اراضی باتلاقی در آمریکا سالانه ۱۰۰میلیون تن متریک متان تولید می‌کنند. به‌دلیل توان تولید زیستی و تنوع این محیط‌ها (بخش ۸ـ۷ را مشاهده کنید). دانشمندان خاک درصدد یافتن روش‌هایی برای مدیریت آزادشدن متان بدون انجام زه‌کشی در این اراضی باتلاقی می‌باشند..

اثر تهویه بر فعالیت گیاهان عالی

گیاهان عالی از سه طریق تحت تأثیر زیان‌بار تهویه ضعیف قرار خواهند گرفت (۱) محدودشدن رشد نبات به‌خصوص ریشه‌ها (۲)کاهش جذب آب و مواد غذایی (۳)ایجاد شرایط مساعد برای تشکیل ترکیبات معدنی سمی برای رشد گیاهان، همان‌طورکه در بخش قبل تشریح گردید

رشد نبات: گونه‌های مختلف نباتی دارای توانایی متفاوتی در مقابله با تهویه‌ی ضعیف می‌باشند (جدول٤ـ۷). چغندر قند و جو برای نمونه نیازمند تهویه بالایی برای حداکثر رشد می‌باشند (شکل ۲ـ۷ الف را مشاهده کنید). درمقابل شبدر لادینو[2] و علف قناری[3] می‌تواند با تهویه بسیار کم رشد کنند. برنج و توت حواصیل[4] درحالی‌که ریشه‌های آن‌ها در آب مستغرق می‌باشند می‌توانند رشد کنند.

مقاومت یک نبات خاص به تهویه ضعیف ممکن است برای گیاهچه‌ها درمقایسه با بوته‌های درحال رشد متفاوت باشد. نمونه‌ای از این مورد، مقاومت کاج قرمز به زه‌کشی محدود در هنگام رشد اولیه آن، و رشد ضعیف و حتی مرگ آن در همان محل در مراحل بعدی رشد می‌باشد (شکل۲ـ۷ب را مشاهده کنید).

جدول ۳-۷ اشکال اکسید و احیاء شده چند عنصر مهم

عنصر	شکل معمول در خاک‌ها با اکسایش مطلوب	شکل احیاء شده در خاک‌های ماندابی
C	CO_2. $C_6H_{12}O_6$	CH_4 ,C_2H_4, CH_3CH_2OH
N	NO^{3-}	N_2 , NH_4
S	SO_4^{2-}	H_2S , S^{2-}
Fe	Fe^{3+} [Fe (III) اکسیدهای]	Fe^{2+} [Fe (II) اکسیدهای]
Mn	Mn^{4+} [Mn (IV) اکسیدهای]	Mn^{2+} [Mn(II) اکسیدهای]

---

1 - Mottled condition
2 - Ladino clover
3 - Reed canary grass
4 - Crane berries

دانستن مقاومت نباتات به تهویه ضعیف در انتخاب گونه‌های مناسب نباتی برای ایجاد پوشش دوباره در اراضی باتلاقی مفید بوده و حضور نبات تطابق یافته به‌طوراخص با شرایط غیرهوازی برای مشخص‌کردن مناطق مرطوب نیز مفید می‌باشند.

جذب آب و مواد غذایی: میزان O_2 پایین سبب محدودیت تنفس ریشه می‌شود، فرایندی که انرژی لازم را برای جذب آب و مواد غذایی فراهم می‌آورد. درنتیجه مشاهده شده است، ماندابی‌بودن بیش از حد در نقاط پست در بعضی مواقع سبب پژمردگی نبات و کاهش جذب آب به‌وسیله‌ی آن‌ها می‌شود، به‌همین طریق، گیاهان ممکن است در اراضی دارای تهویه ضعیف علایم کمبود عناصر غذایی را، حتی درصورت تأمین مناسب این عناصر، از خود بروز دهند.

تراکم خاک و تهویه : تراکم خاک سبب کاهش تبادل گازها می‌شود، اگرچه اثرات منفی تراکم خاک تماماً مربوط به تهویه‌ی ضعیف نمی‌باشند. لایه‌های خاک ممکن است چنان متراکم گردند که از رشد ریشه‌های گیاهان، حتی درصورت تأمین اکسیژن کافی، ممانعت کنند (بخش ٥ـ٤ را مشاهده کنید).

جدول٤ـ۷ نمونه‌هایی از گیاهان با درجات مقاومت متفاوت به سطح آب زیرزمینی بالا و تهویه‌ی ضعیف همراه با آن. گیاهان در ستون آخری سمت راست معمولاً در اراضی باتلاقی زنده می‌مانند. گیاهان در ستون آخری سمت چپ به تهویه ضعیف بسیار حساس می‌باشند.

گیاهانی با عمق آب زیرزمینی ذکر شده سازگاری یافته‌اند.				
کمتر از ۱۰ سانتی‌متر	۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متر	۴۰ تا ۶۰ سانتی‌متر	۷۵ تا ۹۰ سانتی‌متر	بیشتر از ۱۰۰ سانتی‌متر
۱-سرو کچل	۱۷-شبدر السیک	۲۷-سه پر پنجه پرنده	۳۸-راش	۴۶-اربوروبت
۲-کاج سیاه نوئل	۱۸-بیدسیاه	۲۸-آقاقیای سیاه	۳۹-غان	۴۷-جو
۳-لولی معمولی	۱۹-درخت پنبه	۲۹-علف آبی	۴۰-کلم	۴۸-لوبیا
۴-توت حواصیل	۲۰-زبان گوزن	۳۰-لیندن	۴۱-ذرت	۴۹-گیلاس
۵-علف غاز	۲۱-علف بلند شرقی	۳۱-توت سفید	۴۲-خلر پرکرک	۵۰-شوکران
۶-علف نی	۲۲-شبدر لادینو	۳۲-خردل	۴۳-ارزن	۵۱-چاودار
۷-نیشکر بکر	۲۳-کاج لابلالی	۳۳-افرای قرمز	۴۴-نخود	۵۲-هلو
۸-حرا	۲۴-علف باغ	۳۴-قیاق	۴۵-بلوط قرمز	۵۳-علف شن دوست
۹-گیاه ملاقه ای	۲۵-علف سر قرمز	۳۵-افرای مردابی		۵۴-چغندر قند
۱۰-علف قناری قرمز	۲۶-فستوکا بلند	۳۶-علف گریه‌دوست		۵۵-گردو
۱۱-برنج		۳۷-بلوط بیدی		۵۶-گندم
۱۲-کلم راسو				۵۷-کاج سفید
۱۳-علف اسپارتین				
۱۴-بلوط سفید باتلاق				
۱۵-ختمی سرخ مرداب				
۱۶-سقز سیاه				

1)BALD CYPRESS 2)BLACK SPRUCE 3)COMMON CATTAIL 4)CRANBERRIES 5)DUCKGRASS 6)FRAGMITES GRASS
7)MAIDEN CANE 8)MANGROVE 9)PITCHER PLANT 10)REED CANARY GRASS 11)RICE 12)SKUNK CABBAGE
13)SPARTINA GRASS 14)SWAMP WHITE OAK 15)SWAMPROSEMALOW 16)WATER TUPELO 17)ALSIKE CLOVER
18)BLACK WILLOW 19) COTTON WOOD 20) DEER TONGUE 21) EASTERN GAMMA GRASS 22)LADINO CLOVER
23)LOBLLOLY PINE 24)ORCHARD GRASS 25)RED TOP GRASS 26)TALL FESCUE 27BIRDFOOT TREFOIL
28)BLACK LOCUST 29)BLUE GRASS 30)LINDEN 31)MULBERRY 32)MUSTARD 33)RED MAPPLE 34)SORGHUM
35)SYCAMORE 36)WEEPING LOVE GRASS 37)WILLOW OAK 38)BEECH 39)BIRCH 40)CABBAGE 41)CORN
42)HAIRY VETEH 43)MILLET 44)PEAS 45)RED OAK 46)ARBORVITE 47)BARLEY 48)BEANS
49)CHERRY 50)HEMLOCK 51)OAT 52)PEAEH 53)SAND LOVE GRASS 54)SUGAR BEET 55)WALNUT
56)WHEAT 57)WHITE PINE

۷-۷ رابطه‌ی تهویه با مدیریت خاک و نبات

هر دو نوع، زه‌کشی سطحی و زیرزمینی برای حفظ شرایط هوازی اساسی می‌باشند (بخش۹-۶ را مشاهده کنید). در شرایط آبیاری و در گیاهان گلدانی آب‌دادن بیش‌از اندازه که سبب تهویه ضعیف می‌گردد از مسایل بسیار معمولی است که با آن روبرو می‌باشیم.

ساختمان خاک و کشت و کار

نگهداری ساختمان پایدار در خاک یکی از راه‌های مهم تقویت تهویه‌ی خوب می‌باشد. منافذ درشت که دراثر خاکدانه‌های پایدار ایجاد می‌شوند به‌دنبال یک باران از آب زه‌کشی تخلیه می‌شوند. بنابراین، امکان حرکت گازها را از نیوار به‌داخل خاک فراهم می‌سازند. در اراضی زراعی، حفظ مواد آلی با اضافه‌کردن کود حیوانی و پس‌مانده‌های گیاهی و با رشد گیاهان متراکم چمنی و خانواده بقولات شاید عملی‌ترین راه برای ایجاد پایداری خاکدانه‌ها باشد که به‌نوبه خود سبب زه‌کشی خوب و تهویه‌ی بهتر می‌شود. گرچه در خاک‌های دارای بافت سنگین و با زه‌کشی ضعیف حفظ تهویه‌ی بهینه اغلب بدون انجام بعضی عملیات شخم و شیار غیرممکن می‌باشد. کشت‌وار با نظام بدون عملیات خاک‌ورزی که برای ۵ تا۱۰ سال استقرار یافته باشد، دارای حفرات پیوسته کرم‌های خاکی و ریشه‌راه‌ها به مقدارکافی برای کمک فراوان به زه‌کشی خاک می‌باشد. هرچند ممکن است خاک‌پوش بقایای سطحی تبخیر آب را در بهار کاهش داده، و سبب ایجاد خاک‌های سرد و مرطوب نامناسب در زمان کشت گردند (بخش۱۲-۷ را مشاهده فرمایید).

گیاهان کشت‌شده در ظروف

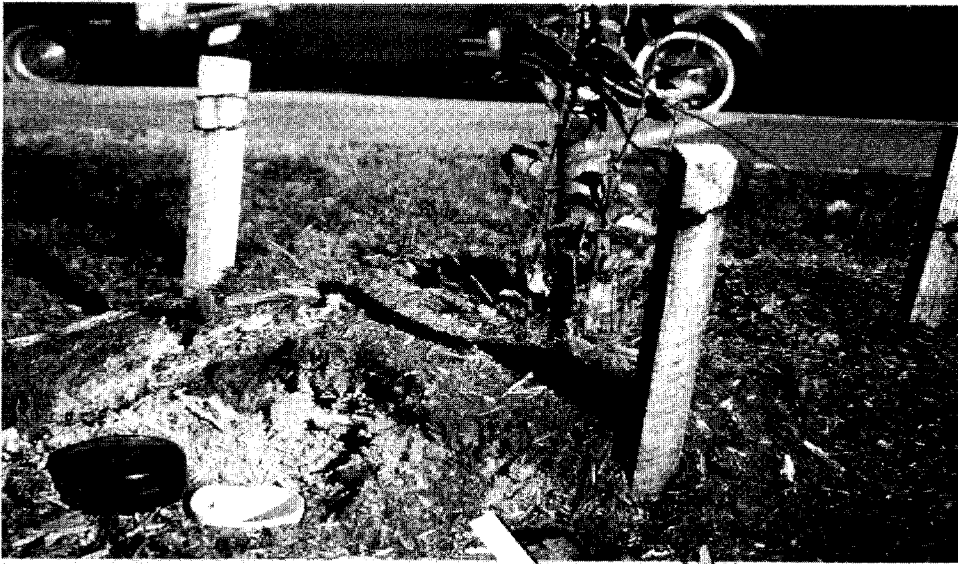
گیاهان گلدانی معمولاً به‌دلیل مشکلات تأمین دقیق میزان آب مورد نیاز گیاه اغلب با مسأله‌ی ماندابی‌شدن مواجه می‌باشند. برای جلوگیری از ماندابی‌شدن اغلب ظروف دارای منافذی در ته برای تخلیه آب اضافی می‌باشند. همان‌طورکه درمورد خاک‌های مطبق گفته شد آب از منافذ انتهای گلدان فقط زمانی زه‌کشی می‌شود که خاک از آب اشباع باشد. اگر خاک گلدان عمدتاً از خاک‌های معدنی پر شده باشد، منافذ ریز خاک مملو از آب باقی می‌مانند، و جایی برای هوا باقی نمی‌گذارند، و شرایط غیرهوازی به‌زودی غالب می‌شود. استفاده از ظروف بلندتر امکان تهویه‌ی بهتر را در بخش بالایی خاک فراهم می‌کند.

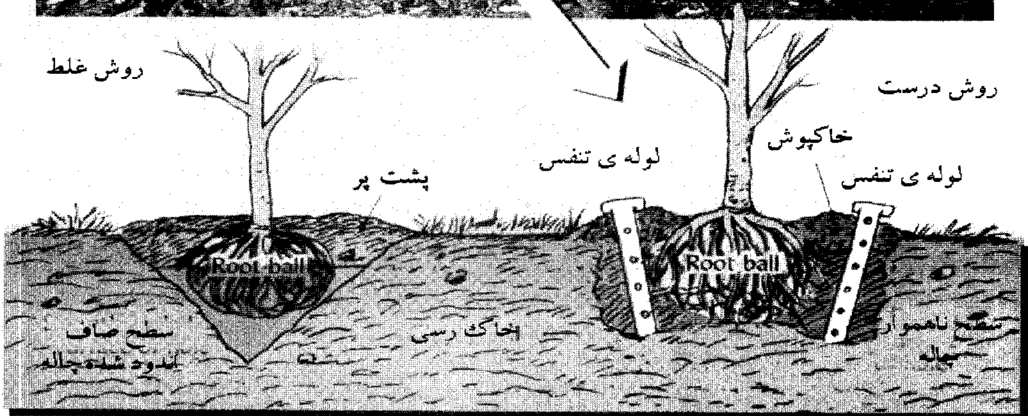
برای مدیریت این مسائل خاک‌های مخلوط گلدانی چنان تهیه می‌شوند که نیازمندی‌های گیاهان گلدانی را برطرف کنند. خاک‌های معدنی معمولاً بیشتر از ۱/۳ حجم را در اکثر مخلوط‌های گلدانی شامل نمی‌شود. بقیه مخلوط گلدانی شامل مواد دانه‌درشت سبک وزن خنثی مانند پرلیت (شیشه‌های آتشفشانی منبسط‌شده) ورمی‌کولیت (میکای انبساط‌یافته - نه ورمی‌کولیت خاک) و یا سنگ‌پا (سنگ متخلخل آتشفشانی) می‌باشند. مخلوط‌های نوین همچنین شامل بعضی مواد آلی پایدار مانند پیت پوست شرحه‌شرحه درختان، قطعات چوب و یا کمپوست می‌باشند که سبب نگهداری آب و همچنین ایجاد منافذ درشت می‌گردند.

مدیریت درختان و چمن

در نشاکاری یک نهال جوان و یا هر گونه درختی باید دقت خاص برای جلوگیری از غرقاب‌شدن اطراف ریشه نبات به‌عمل آید. شکل ۱۱-۷ راه درست و غلط را برای مدیریت نشاء درختان در خاک‌های متراکم نشان می‌دهد.

تهویه در درختان بالغ خوب استقراریافته نیز باید محافظت گردد، اگر خاک اضافی حاصل از حفاری‌های نزدیک در اطراف تنه اصلی یک درخت ریخته شود، پی‌آمدهای ناگواری به‌زودی آشکار خواهند شد (شکل ۱۲-۷). ریشه‌های غذادهنده، نزدیک سطح خاک اصلی به‌زودی با کمبود اکسیژن مواجه خواهند شد، حتی اگر عمق خاک ریخته‌شده بیشتر از ۵ و یا ۱۰ سانتی‌متر نباشد. ایجاد دیواره‌های آجری (همانند چاه خشک) دراطراف تنه‌ی اصلی قبل از شروع عملیات تسطیح سبب حفظ سطح اصلی خاک به‌مقدار کافی گردیده و امکان دستیابی ریشه‌ها را به O_2 مورد نیاز فراهم و سبب حفظ درخت می‌شود. نظام‌های مدیریتی برای چمن‌های پررفت‌وآمد شامل عملیاتی در ارتباط با تهویه خاک می‌باشند. برای مثال یکی از راه‌های افزایش تهویه در مناطق دارای چمن‌های فشرده، شخم و شیار مغزه‌ای است که در واقع تکه‌هایی از خاک چمن در لایه سطحی برداشت شده و امکان تبادل گازی را به آسانی فراهم می‌کند (شکل ۱۳-۷ را مشاهده کنید). باید توجه داشت که نباید تنها با فشار سوراخ‌هایی در زمین ایجاد شود، زیرا در این‌صورت سبب ایجاد تراکم در محل کار وسیله حفاری خواهد شد.

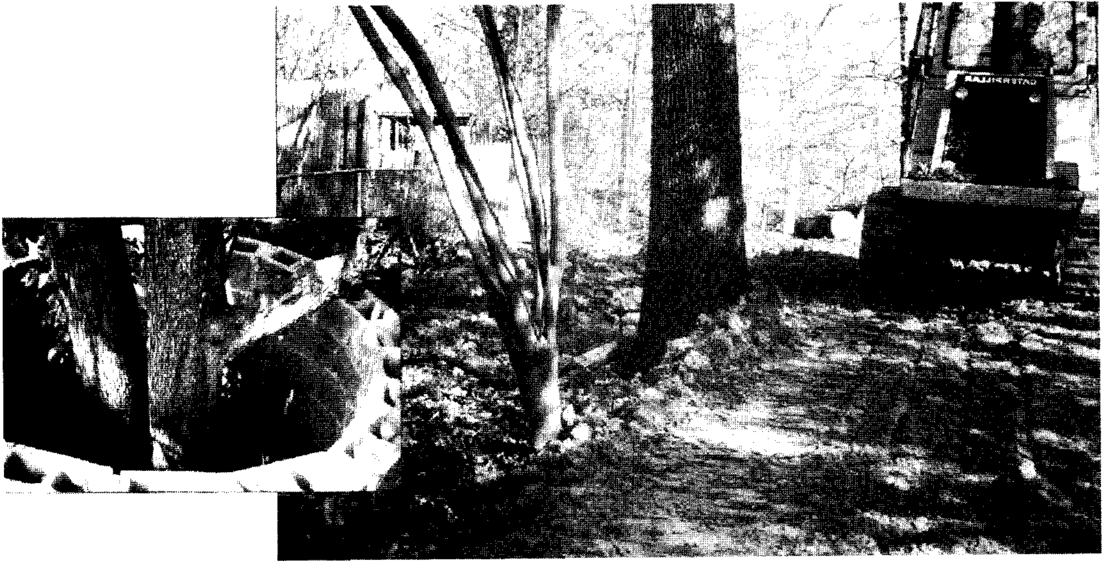




شکل ۱۱-۷ تأمین تهویه‌ی خوب برای ریشه درختان می‌تواند مخصوصاً هنگامی‌که درختان در خاک‌های ریز بافت متراکم شهری کشت شده باشند، دشوار است. ماشین یک حفره با دیواره‌های صاف ایجاد می‌کند که همانند فنجان چای می‌باشد که پر از آب شده و سبب خفه‌گی ریشه درختان می‌گردد. لوله‌های تنفسی و حفره‌های بزرگ ناهموار و یک لایه از خاک‌پوش که درآن ریشه‌های ریز درخت می‌تواند رشد کند، روش‌هایی است که ممکن‌است حالت تهویه‌ی ریشه‌ی درخت را بهبود بخشد.

۸-۷ اراضی باتلاقی و خاک‌های آن‌ها با تهویه ضعیف

زمین‌هایی با تهویه ضعیف اراضی باتلاقی نامیده می‌شوند و حدوداً ۱٤٪ اراضی یخ‌نزده جهان را تشکیل می‌دهند، گسترده‌ترین این اراضی در مناطق سرد کانادا، آلاسکا و روسیه قرار دارند (جدول۵-۷). در قاره آمریکا امروزه حدود ٤۰۰ هزارکیلومترمربع از این اراضی وجود دارند، که برآورد می‌شود نصف مساحت این اراضی هنگام اسکان اروپاییان باشد. اکثر هدررفت اراضی باتلاقی زمانی صورت گرفت که زارعین از زه‌کشی مصنوعی برای تبدیل آن‌ها به اراضی کشاورزی استفاده‌کردند (بخش ۹-٦را مشاهده کنید). این فرایند تبدیل با همکاری بعضی از همین سازمان‌های دولتی (مانند مهندسین ارتش آمریکا و وزارت کشاورزی آمریکا) انجام گرفت که درحال حاضر برای حفاظت این اراضی باتلاقی از خسارت هرچه بیشتر درحال تلاشند. در دهه‌های اخیر، پرکردن گودی‌ها و زه‌کشی برای توسعه‌ی مناطق شهری دست‌درازی بیشتری به اراضی باتلاقی کرده‌اند. از آن‌جاکه هوشیاری زیست‌محیطی در جوامع نوین به یک نیرو تبدیل شده است، حفاظت اراضی باتلاقی به یک مسأله مهم تبدیل گردیده، و میزان هدررفت اراضی باتلاقی کاهش یافته است.



شکل ۱۲-۷ حفاظت درختان با ارزش در انجام عملیات زیباسازی فضای سبز: اگرحتی یک لایه نازک خاک بر روی شبکه‌ی ریشه درخت موردنظر پخش شده باشد می‌تواند سبب خفه‌گی ریشه‌ها و مرگ درخت گردد. (عکس داخل) برای حفظ سطح زمین اصلی به‌طوری‌که ریشه‌های تغذیه‌کننده بتوانند اکسیژن کافی به‌دست آورند، یک چاه خشک با آجر و یا هر نوع مصالح تزیینی دیگر ساخته می‌شود. این چاه خشک ممکن است در طراحی نهایی چشم‌انداز منظور گردیده، و یا هر سال به مقدار چند سانتی‌متر پر گردد.



شکل ۱۳-۷ یک وسیله برای افزایش تهویه‌ی خاک، زدن دندانه مغزه‌ای می‌باشد[1]. ماشین مغزه‌های کوچکی را از خاک بر می‌دارد و سوراخهایی با قطر ۲ سانتی‌متر و عمق ۵ تا ۸ سانتی‌متر ایجاد می‌کند. این روش معمولاً در اراضی چمنی پررفت‌وآمد مورد استفاده قرار می‌گیرد. توجه کنید که ماشین ضمن این‌که مغزه‌هایی را به آسانی برمی‌دارد، سوراخ‌هایی با فشار در داخل خاک ایجاد نمی‌کند، فرایندی که سبب افزایش تراکم در پیرامون سوراخ و محدودیت پخشیدگی هوا در داخل خاک می‌شود.

[1] -Core cultivation

جدول ۵-۷ انواع اراضی باتلاقی عمده و مساحت جهانی آنها. اراضی باتلاقی شاید روی‌هم‌رفته ۱۴درصد اراضی جهان را شامل شوند.

انواع اراضی مرطوب	مساحت جهانی ۱۰۰۰ کیلومترمربع	درصد در اراضی بدون یخبندان	درصد در تمام اراضی مرطوب
اراضی داخلی (باتلاق‌ها، مردابها)	۵٤۵۱	۳/۹	۲۸/۸
اراضی حاشیه‌ی رودخانه‌ها و دریاچه‌ها و یا موقتی	۳۱۰۲	۲/۳	۱٦/۵
خاک‌های آلی (هیستوسول)	۱۳٦٦	۱	۷/۳
اراضی تحت تأثیر نمک ازجمله اراضی ساحلی	۲۲۳۰	۱/٦	۱۱/۹
اراضی تحت یخبندان دایمی(هیستل)	٦٦۹٦	٤/۹	۳۵/٦

تعریف یک زمین باتلاقی

واژه‌های باتلاق، مرداب و مانداب درمورد یک زمین مرطوب خاص برای قرن‌ها مورد استفاده بوده است و اکثر مردم از چگونگی این اراضی به‌خوبی مطلعند. بنابراین ممکن است به‌رغم ده‌ها سال تلاش دانشمندان و قانون‌گزاران محیط‌زیست، هنوز تعریف دقیق زمین باتلاقی مورد مجادله بوده و به‌صورت معما باقی مانده باشد[1]. اراضی باتلاقی یک واژه علمی برای بوم‌سامان‌هایی است که در حالت انتقالی بین آب و زمین می‌باشند. این نظام‌ها به‌طور محض نه زمینی هستند و نه آبی، درحالی‌که انواع اراضی باتلاقی متفاوت وجود دارند آن‌ها دارای یک سیمای کلیدی به نام خاک هستند که در نزدیکی سطح برای مدت طولانی و هنگامی که دمای خاک برای ایجاد شرایط غیرهوازی مناسب است از آب اشباع می‌باشند. عمدتاً این سیطره شرایط غیرهوازی است که انواع گیاهان، جانوران و خاک‌های موجود در این مناطق را تعیین می‌کند. توافق گسترده‌ای بر این امر وجود دارد که انتهای مرطوب‌تر یک زمین باتلاقی در چنان عمقی وجود دارد که گیاهان جوانه‌زده نمی‌توانند به آن متکی باشند. مشکل در تعریف دقیق انتهای خشک یک زمین باتلاقی است که در خارج از این مرز دیگر زمین باتلاقی وجود ندارد، نظام اراضی مرتفعی که در آن جوامع گیاه - خاک - حیوان دیگر چندان تحت تأثیر خاک‌های اشباع از آب قرار ندارند.

مجادله درمورد اراضی باتلاقی احتمالاً بیشتر سیاسی می‌باشد تا علمی. هرچند از آنجا که استفاده و مدیریت اراضی باتلاقی در آمریکا و بسیاری از کشورهای دیگر تحت مقررات دولتی می‌باشد، میلیاردها دلار در گرو تعریف اراضی باتلاقی و اراضی غیر باتلاقی می‌باشد (توجه کنید که یک پیمانکار ساختمانی می‌خواهد ۱۰۰ هکتار زمین را برای ایجاد مراکز خرید فروش ابتیاع کند اگر اراضی۲۰ در مقابل ٦۰ هکتار فاقد محدودیت برای توسعه باشند. این امر بر تمایل فروشنده چه تأثیری خواهد داشت؟).

به‌خاطر درگروبودن این همه پول، هزاران متخصص زیست‌محیطی درتعریف اراضی باتلاقی و پیداکردن انتهای خشک‌تر اراضی باتلاقی به‌طور دقیق در صحرا استخدام شده‌اند، جداسازی اراضی باتلاقی بر صفحه‌ی رایانه قابل‌انجام نیست بلکه یک شغل عرق‌ریزان، در محیط پرگل و شل و پر از گزش ساس و پشه است که افرادی‌که در دانش خاک خبره هستند فقط برای انجام آن واجد شرایط می‌باشند.

این دانشمندان به‌دنبال چه خصوصیاتی برای اعلام وجود یک نظام اراضی باتلاقی می‌باشند؟ اکثر مسئولین بر وجود سه خصوصیت در اراضی باتلاقی به‌شرح زیر توافق دارند.

۱. هیدرولوژی (آب‌شناسی) اراضی باتلاقی و یا رژیم آبی
۲. خاک‌های آب‌دار
۳. گیاهان آب‌دوست

به‌طور خلاصه این موارد را بررسی می‌کنیم

[1] - در سال ۱۹۸۷ سپاه مهندسی آمریکا و سازمان محیط زیست درمورد تعریف زیرین برای اجرای طرح (آب تمیز) توافق به‌عمل آوردند: واژه‌ی اراضی باتلاقی شامل آن اراضی می‌شود که زیر پوشش آب بوده و یا به‌وسیله‌ی آب سطحی و یا زیرزمینی به حالت اشباع بوده و تکرار دفعات اشباع و مدت دوام آن در تحت شرایط عادی برای حفظ و بقای پوشش گیاهی سازگار با شرایط اشباع کفایت نماید

هیدرولوژی (آب‌شناسی) اراضی باتلاقی

تعادل آب: آب آشکارا یک جزء مهم از اراضی باتلاقی می‌باشد. هرچند انواع اراضی باتلاقی در رابطه با میزان آب موجود در آن‌ها و نحوه‌ی تأمین این آب متفاوتند. آب وارده به مرداب‌ها از رواناب سطحی (اراضی باتلاقی و مرداب‌ها)، نشت آب زیرزمینی، و یا به‌طور مستقیم از باران می‌باشد که به‌وسیله‌ی جریان‌های سطحی و یا زیرزمینی و همچنین تبخیر وتعرق از آن‌ها خارج می‌شود (بخش ۳-۶ و جدول ۲-۷ را مشاهده کنید). تعادل بین ورودی و خروجی، و همچنین ظرفیت نگهداری آب در اراضی، مرطوب شدن و میزان تداوم آنرا مشخص می‌سازد.

دور آبی : میزان اشباع خاک در اراضی باتلاقی به‌وسیله‌ی سطح ایستابی (در بالا و یا زیرسطح خاک) تعیین می‌شود و این سطح در زمان‌های مختلف نوسان دارد. چگونگی تغییرات زمانی این سطح ایستابی دورآبی نام دارد. برای باتلاق‌های ساحلی، دور آبی ممکن است با توجه به جزرومد روزانه باشد (شکل ۱۴-۷) برای باتلاق‌ها و مرداب‌های داخلی دور آبی با احتمال بیشتر فصلی بوده، و بالاترین سطح ایستابی در فصل بیشترین بارندگی و یا ذوب برف و کمترین تبخیر و تعرق به‌وجود می‌آید. بعضی از اراضی باتلاقی ممکن است برای مدت حدود یک‌ماه در سال در غرقاب باشند، درحالی‌که بقیه هرگز به‌حالت غرقاب نبوده، گرچه در افق‌های فوقانی خاک از آب اشباع می‌باشند.



شکل ۱۴ـ۷ نمونه‌ای از یک زمین باتلاقی با دوره زمانی مرطوب شدن روزانه که به‌دنبال بالا و پایین رفتن جزرومد آب‌های نسبتاً شور در مصب روی می‌دهد. این باتلاق جزر و مدی با لانه سگ آبی در جزر پایین وقتی خاک‌های اشباع و گیاهان بیرون آمده‌اند نمودار می‌شود.مرز خشک‌تر این اراضی باتلاقی احتمالاً درست بعد از خط درختان در قسمت عقب عکس باشد.

همچنین، در دوره‌ی اشباع اگر خاک برای فعالیت میکروبی و یا فعالیت ریشه گیاه خیلی سرد باشد، ممکن است شرایط غیرهوازی حتی در خاک‌های تحت غرقاب صورت نگیرد. این نیازمندی دما بعضی مواقع تحت عنوان فصل رشد، در رابطه با زمانی از سال که در آن گیاهان فعال می‌رویند نامیده می‌شوند. همان‌طورکه در فصل ۹-۷ خواهیم دید، فعالیت میکروبی تاحدود ۵ درجه سانتی‌گراد ادامه دارد. بنابراین، وقتی دمای خاک از آن بیشتر شد (حتی درصورت خواب درختان) ممکن است O_2 تخلیه گردد. به‌خاطر بیاورید که این شرایط غیرهوازی است، نه فقط اشباع از آب، که یک زمین باتلاقی را ایجاد می‌کند.

زمان باقی‌ماندن آب: هرچه آب آرام‌تر به‌داخل اراضی باتلاقی وارد و از آن‌ها خارج گردد. زمان مواجه‌بودن با شرایط اراضی باتلاقی بیشتر خواهد بود. زمان باقی‌ماندن بیشتر باعث می‌شود که فعالیت‌ها و واکنش‌های اراضی باتلاقی به‌انجام برسد به این دلیل، عملیاتی که سبب تسریع در جریان آب گردند، مانند ایجاد نهرها و یا مستقیم ساختن پیچ‌وخم رودخانه‌ها سبب از بین‌رفتن اراضی باتلاقی گردیده و باید در مدیریت اراضی باتلاقی از آن‌ها اجتناب کرد.

شاخص‌ها: تمام اراضی باتلاقی در بعضی از مواقع از آب اشباع هستند اما همه‌ی آن‌ها برای همیشه اشباع نمی‌باشند. در طول ایام تر غرقاب گردیدن به‌وسیله‌ی آبی کم‌عمق مشهود می‌باشد. هرچند، مشاهدات منظم صحرایی با کمک ادواتی برای نظارت تغییرات سطح آب زیرزمینی برای مشخص‌کردن تکرار و تداوم شرایط غرقابی و یا اشباع، لازم می‌باشد.

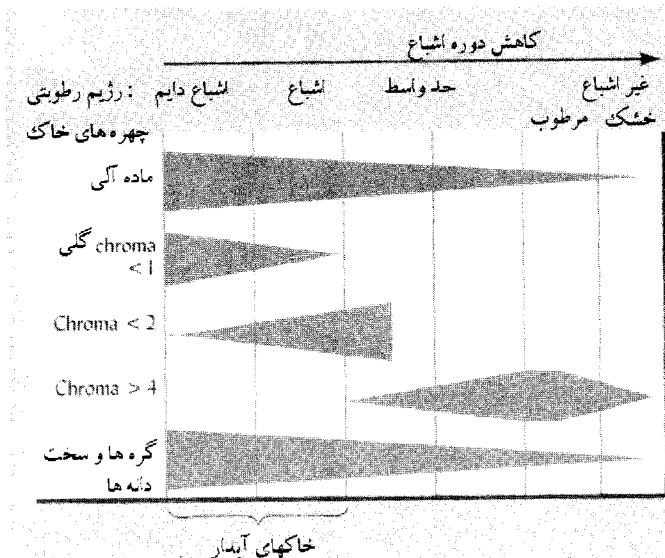
در مزرعه حتی در طول ایام خشک، علائم بسیار زیادی وجود دارد که شخص می‌تواند از آن‌ها برای تعیین محل‌هایی که شرایط اشباع در آن‌ها به‌طور مکرر صورت می‌گیرد استفاده کند. غرقاب‌شدن قبلی سبب باقی‌گذاشتن داغاب بر روی درختان و سنگ‌ها و رسوبات پوششی بر روی برگ و باقی‌مانده گیاهان می‌شود. داغاب شاخه ها، سرشاخه‌ها و سایر خس‌وخاشاک بیانگر طغیان قبلی می‌باشد. درختانی با ریشه‌های فراوان در سطح خاک معرف سازگاری آن‌ها با شرایط اشباع می‌باشد.اما شاید بهترین شاخص شرایط اشباع حضور خاک‌های آب‌دار باشد.

خاک‌های آب‌دار[1]

برای کمک به مشخص‌کردن اراضی باتلاقی، دانشمندان خاک مفهوم خاک‌های آب‌دار را ابداع نموده‌اند. (فصل ۳ را مشاهده کنید). این خاک‌ها اکثراً (اما نه تماماً) در زیررده‌های اکویک مانند اکونت، اکویت و آکوالف و یا زیرگروه‌های اکویک در راسته‌ی هیستوسول طبقه‌بندی شده‌اند. این خاک‌ها معمولاً دارای رژیم رطوبتی اکویک و یا اکویک دایمی[2] می‌باشند.(بخش ۲-۳ را مشاهده کنید).

تعریف: سه خصوصیت در تعریف خاک‌های هیدریک مورد استفاده می‌باشد. اول، خاک‌ها در معرض دوره‌های اشباع قرار گرفته که سبب محدودیت پخشیدگی O_2 به‌داخل خاک می‌شود. دوم، برای مدت‌های قابل‌توجهی آن‌ها در شرایط احیا قرار می‌گیرند(بخش ٤-۷)، که در آن قبول‌کننده‌های الکترون غیراز O_2 احیاء می‌شوند. سوم، آن‌ها علایم مشخصی را که شاخص‌های خاک آب‌دار نامیده می‌شوند آشکار سازند.

شاخص‌ها: شاخص‌های خاک آب‌دار چهره‌هایی می‌باشند که همراه اشباع و احیا (بعضی مواقع فقط در مناطق جغرافیایی خاص) یافت می‌شوند. اکثر این شاخص‌ها می‌توانند در مزرعه با حفر یک چاله‌ی کوچک با عمق ۵۰ سانتی‌متر مورد مشاهده قرار گیرند. آن‌ها عمدتاً شامل فقدان و یا تجمع اشکال مختلف S,Mn,Fe و یا کربن می‌باشند. تراکم کربن (ماده‌ی آلی) در خاک‌های هیستوسول بسیار آشکار است، اما لایه‌های ضخیم تیره رنگ سطحی در دیگر خاک‌ها وقتی می‌تواند شاخص شرایط آب‌داربودن باشد، که در آن تجزیه ماده‌ی آلی دچار محدودیت گردیده است (برای نمونه به تابلوهای رنگی ٦و۲۱ مراجعه کنید).



شکل۱۵ـ۷ رابطه‌ی بین وجود بعضی از چهره‌های خاک و تداوم سالانه‌ی شرایط اشباع آن، نبود تراکم آهن (رنگدانه ها) با رنگ‌های دارای کرومای بیشتراز ٤ و حضور قوی سایر چهره ها، شاخص احتمالی از خاک‌های آب‌دار هستند.

آهن هنگام احیا به Fe(II) به‌مقدار کافی محلول گردیده، و از منطقه‌ی احیا مهاجرت نموده وممکن است به‌صورت ترکیبات Fe(III) درمحدوده‌های هوازی ترسیب یابد. محدوده‌هایی‌که احیاء سبب جدانمودن و یا تخلیه‌ی پوشش آهن از ذرات کانی‌ها شود، تحت عنوان تخلیه‌ی احیایی[3] نام دارند. آن‌ها معمولاً رنگ خاکستری و یا کرومای پایین را در کانی‌های لخت زیرین خود به نمایش می‌گذارند (برای تعریف کروما به بخش ٤-۱ مراجعه کنید). همچنین آهن خود به رنگ خاکستری و یا آبی متمایل به سبز درصورت احیا برمی‌گردد.

[1]- hydric soils : سازمان حفاظت منابع طبیعی وزارت کشاورزی آمریکا خاکهای آبدار را چنین تعریف می کند: خاکهایی که تحت شرایط اشباع، غرقابی و یا ماندابی بودن به‌مدت طولانی در فصل رشد تشکیل شده و بتواند شرایط غیرهوازی را در طبقات فوقانی خاک ایجاد نماید.

[2]- Peraquic

[3] - Redox depletions

رنگ‌های متضاد مناطق تخلیه‌ی احیایی از آهن احیا شده و منطقه آهن اکسید شده قرمز، سبب ایجاد رنگین‌دانه‌های شاخص اکسید[1]- احیایی می‌باشد (برای نمونه تابلوهای رنگی ۱۸و۱۵ را مشاهده کنید). سایر چهرهای احیایی شامل Mn احیا شده می‌باشد. این چهره‌ها شامل گرددانه‌های سیاهی می‌باشد که بعضی مواقع شبیه ساچمه‌های تفنگ شکاری هستند. در تحت شرایط احیاء شدید تمام ماتریکس خاک ممکن است رنگهایی با کرومای پایین را به نمایش گذارند که به انها گِلی[2] اطلاق می‌گردد. خاک دارای کرومای یک و یا کمتر به‌طور قابل‌اطمینان بیانگر شرایط احیاء می‌باشند (شکل ۱۵-۷ را مشاهده کنید).

همیشه درخاطر داشته باشید که چهره‌های اکسید-احیایی فقط زمانی معرف خاک‌های آب‌دار می‌باشند که در افق‌های بالا یافت گردند. بسیاری از خاک‌های مناطق مرتفع چهره‌هایی اکسید- احیایی را فقط در افق‌های عمیق خود به‌دلیل نوسانات سطح ایستابی درعمق، آشکار می‌سازند. خاک‌های مناطق مرتفع که برای مدت کوتاهی، به‌خصوص در فصل سرد تحت اشباع و حتی غرقابی قرار داشته باشند اراضی باتلاقی (خاک‌های آب‌دار) به حساب نمی‌آیند.

یک چهره‌ی شاخص اکسید- احیایی که با گیاهان خاص اراضی باتلاقی همراه است حضور یک ماتریکس غیرخاکستری است که در آن آهن اکسید شده قرمز در اطراف ریشه‌راه‌ها به‌دلیل پخشیدگی O_2 از مجاری هوایی تأمین‌کننده‌ی اکسیژن ریشه در گیاهان آب‌زی (تابلوی رنگی ۲۰) مشاهده می‌شود. این محدوده اکسید شده ریشه رابطه نزدیک بین خاک‌های آب‌دار و گیاهان آب‌زی را آشکار می‌سازد.

گیاهان آب‌زی[3]

اگرچه بخش عمده‌ای از گونه‌های گیاهی نمی‌توانند در شرایط خاص اراضی باتلاقی زنده بمانند، جوامع متنوع و مختلفی از گیاهان وجود دارند که سازوکار خاصی را برای سازگاری زندگی خود با شرایط خاک‌های اشباع غیرهوازی تکامل بخشیده‌اند. این نباتات شامل گیاهان آب‌زی می‌باشند که اراضی باتلاقی را از سایر نظام‌ها مشخص می‌سازند.

چهرهای شاخص سازگاری در این نباتات شامل بافتهایی ارانشیم[4] خالی است که امکان می‌دهد نباتاتی مانند علف اسپارتینا[5] اکسیژن را به پایین، به داخل ریشه‌های خود انتقال دهد. درختان خاص (مانند سرو کچل[6])ریشه‌های نابه‌جا، ریشه‌های حایل و یا زانوهایی (شکل ۱ـ۷ را مشاهده کنید) ایجاد می‌کنند. دیگر گونه‌ها حجم اندکی از ریشه‌های خود را به روی زمین و یا در نزدیکی سطح خاک، که در آن مقداری اکسیژن، حتی در زیر یک لایه‌ی خاک غرقابی می‌تواند پخش شود، گسترش می‌دهند. آخرین ستون سمت چپ در جدول ٤ـ۷ تعداد اندکی از گیاهان آب‌زی را مشخص کرده است. تمام گیاهان در اراضی باتلاقی، آب‌زی نیستند اما اکثر آن‌ها آب‌زی می‌باشند.

شیمی خاک‌های مرطوب

خاک‌های آب‌دار و گیاهان آب‌زی هر دو بخشی از نتایج و بخشی از علل شیمی خاص در نظام‌های اراضی باتلاقی می‌باشند. ویژگی‌های اصلی شیمی خاک‌های باتلاقی پتانسیل اندک اکسید-احیایی موجود است (بخش ۴-۷ را مشاهده کنید). به‌علاوه بسیاری از نقش‌های اراضی باتلاقی‌وابسته به تغییرات پتانسیل اکسید-احیایی است. و این بدان‌معنی است که در محدوده‌ی خاص و یا برای مدت‌های خاص شرایط اکسایش در تناوب با شرایط احیایی صورت می‌گیرد.

اکسیژن اندک : به‌طور نمونه در خاک‌های مرطوب غرقابی O_2 نیوار و یا آب اکسیژن‌دار قادر است در۱ تا ۲سانتی‌متر سطح خاک پخشیدگی پیداکرده و یک محدوده‌ی اکسایش را ایجاد کند (شکل ١٦ـ۷ را مشاهده کنید). پخشیدگیO_2 در داخل یک خاک اشباع فوق‌العاده محدود است؛ بنابراین چند سانتی‌متر عمیق‌تر در خاکرخ، O_2، خذف گردیده و پتانسیل اکسید-احیایی به‌مقدار کافی برای ایجاد واکنشهایی مانند احیاء نیترات پایین می‌آید. مجاورت نزدیک محدوده‌های اکسایش و احیاء این امکان را فراهم می‌کند آبی که از اراضی باتلاقی عبور می‌کند براثر اکسایش بعدی آمونیوم و تولید نیترات و احیای متعاقب نیترات و ایجاد گازهای ازته دراثر فرایند نیترات زدایی و فرار آن‌ها به نیوار از اکسیژن تهی گردد (بخش ۹ـ۱۳ را مشاهده کنید).

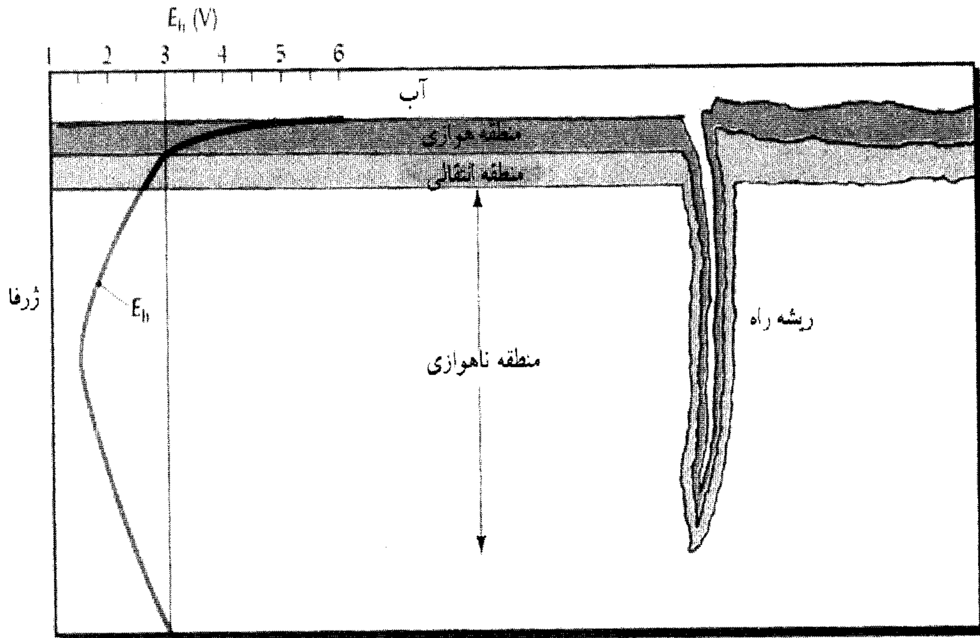
اکسایش ـ احیاء: پتانسیل اکسید-احیایی ممکن است چنان پایین بیاید که برای احیاءآهن و تولید چهرهای احیایی و احیاء سولفات وتولید بوی تخم‌مرغ گندیده گاز سولفید هیدروژن(H_2S) کفایت کند. محدوده‌ی غیرهوازی ممکن است به پایین گسترش یافته و یا در

---

1 - Redoximorphic features
2 - Gley
3 - Hydrophytic vegetation
4 - Aerenchyma
5 - Spartina grass
6 - Bald cypress

بعضی موارد به چند سانتی‌متر بالایی، که فعالیت میکروبی بالا است محدود گردد. واکنش‌های غیرهوازی کربن که در بخش ۶ـ۷ مورد بحث قرار گرفت از خصوصیات این محدوده بوده که تولید متان (گاز مرداب) را به‌همراه دارد. این واکنش‌ها، و دیگر واکنش‌های شیمیایی که در چرخه‌ی C و N و S موجود می‌باشند در بخش‌های ۲ـ۱۲،۹ـ۱۳،۱۳ـ۲۱،۱۳ـ۲۱ تشریح گردیده است. عناصر سمی مانند کرم و سلنیم وارد واکنش‌های اکسید احیایی گردیده و امکان جداسازی آن‌ها را قبل از خروج آب از اراضی باتلاقی فراهم می‌کند.اسیدهای حاصل از کارخانه‌ها و یا زه‌کشی معادن ممکن است در اثر واکنش‌هایی خاک‌های آب‌دار خنثی گردند.

این مجموعه از واکنش‌های شیمیایی سبب ایجاد منافعی فراوان برای جامعه و زیست محیط از اراضی باتلاقی می‌شود (تابلو ۱ـ۷را مشاهد کنید).



شکل ۱۶ـ۷ پتانسیل اکسید-احیایی معرف در خاکرخ یک خاک آب‌دار غرقابی. بسیاری از نقش‌های زیستی و شیمیایی اراضی باتلاقی در ارتباط نزدیک با محدودهای اکسایش و احیایی در داخل خاک می‌باشد. تغییرات در پتانسیل اکسید-احیایی در عمق‌های پایین به‌طور عمده در ارتباط با توزیع عمودی ماده‌ی آلی می‌باشد. در بعضی موارد، پایین‌بودن ماده‌ی آلی در خاک تحت‌الارض سبب ایجاد محدوده‌ی اکسایش دوم در زیر محدوده احیاء می‌گردد.

اراضی باتلاقی مصنوعی

با درک نقش‌های مفید اراضی باتلاقی، دانشمندان و مهندسین نه‌تنها درصدد یافتن راه‌هایی برای محافظت اراضی باتلاقی طبیعی می‌باشند، بلکه اقدام به ایجاد اراضی باتلاقی مصنوعی برای مقاصد خاص، مانند اصلاح فاضلاب (تابلو ۲ـ۱۴ را مشاهده کنید) کرده‌اند. دلیل دیگر در تلاش‌های ایجاد اراضی باتلاقی، تحقق شرایطی است که در مقررات مربوط به از بین‌بردن اراضی باتلاقی طبیعی برقرار گردیده است و آن ایجاد اراضی باتلاقی مصنوعی، هم‌اندازه و یا بزرگ‌تر از اراضی باتلاقی طبیعی و یا سازگاری اراضی باتلاقی طبیعی تخریب شده می‌باشد. همان‌طورکه انتظار می‌رود، این فرایند که جبران‌کردن اراضی باتلاقی[1] نامیده می‌شود، فقط تا حدی موفق بوده است زیرا نمی‌توان از دانشمندان انتظار داشت چیزی را ایجاد کند که خود به درستی نمی‌توانند چگونه باید باشد.

ما تأثیر آب خاک را در تهویه‌ی خاک مشاهده کرده‌ایم، حال به خصوصیت فیزیکی دیگری از خاک یعنی دمای آن برمی‌گردیم که به مقدار زیادی تحت تأثیر آب خاک است.

[1]- Wetand mittigation

تابلو ۱-۷ : نقش‌های سودمند اراضی باتلاقی برای بوم‌سامان‌ها وجامعه

اراضی باتلاقی که زمانی به‌عنوان اراضی بی‌فایده بیماری‌زا تلقی می‌گشتند، حال مشخص شده است که نقش‌های فوق‌العاده با ارزشی را ایفا می‌کنند. یک گروه از دانشمندان برآورد کرده‌اند که در مقیاس جهانی، اراضی باتلاقی خدماتی را ارائه می‌دهند که ارزش آن‌ها ۱۰ تریلیون دلار در سال می‌باشد. ما می‌توانیم حداقل ۶ نواع مزایا را که از اراضی باتلاقی ناشی می‌شوند جمع‌بندی کنیم. تشخیص این مزایا سبب انگیزش انجام مطالعات اراضی باتلاقی و مقررات حفاظتی گردیده است.

۱- *زیست‌گاه گونه‌ها*: اراضی باتلاقی شرایط زیست‌محیطی خاص موردنیاز مجموعه گسترده‌ای ازگونه‌های وحشی را فراهم می‌کنند. نباتاتی مانند سرو کچل و گیاهان شیپوری و حیواناتی مانند سمندر و موش آبی، که اراضی باتلاقی را به‌عنوان زیست‌گاه اولیه (چون در اراضی باتلاقی زندگی می‌کنند) انتخاب می‌کنند. به‌علاوه حدود ۴۰ درصد تمام گونه‌های در معرض خطر و نابودی به نحوی به اراضی باتلاقی وابسته می‌باشند (برای غذا و پناه‌گاه) حدود ۳٪ تمام گونه‌های پرنده در آمریکا نیز به اراضی باتلاقی وابسته‌اند.

۲- *تصفیه آب* : آب با عبور از اراضی باتلاقی برای رسیدن به رودخانه، خلیج، دریاچه، مصب و سطح ایستابی، تصفیه شده و تمیز می‌گردد. اراضی باتلاقی به‌طور فیزیکی تمام رسوبات را تصفیه می‌کنند، و بخش عظیمی از عناصر غذایی نباتات(به‌خصوص P, N) را که می‌توانند سبب بروز غنی‌شدن در نظام‌های آبی گردند جدا نموده (فصل ۲-۱۴ را مشاهده کنید) و سبب تجزیه‌ی موادآلی شوند که می‌توانند در نظام‌های آبی و آب آشامیدن سبب ایجاد سمیت و یا تخلیه O_2 گردند.

۳- *کاهش سیل‌گیری*: اراضی باتلاقی می‌توانند همانند مخازن عظیم برای نگهداری حجم بزرگی از رواناب حاصل از رگبارها در اراضی مجاور آن عمل کنند. آن‌ها بعداً آب را به جریان آرامی، چه به‌صورت جریان سطحی و یا زیرزمینی رها می‌کنند بنابراین، از اوج جریان و طغیان سیل، که سبب نابودی منازل و اراضی کشاورزی در حاشیه رودخانه می‌شود، ممانعت می‌کنند. مطالعات نشان داده‌اند که سیل‌ها در مناطقی که نظام رودخانه‌ای امکان نگهداری اراضی باتلاقی خود را داشته‌اند بسیار کمتر خطرناک و بسیار نادر بوده‌اند.

۴- *نگهداری سواحل* : اراضی باتلاقی ساحلی، همانند یک خط بین موج‌های پرانرژی دریا و ساحل عمل نموده و از فرسایش ساحلی شدید، که در صورت زه‌کشی و یا پرشدن اراضی باتلاقی صورت می‌گیرد، ممانعت می‌کنند.

۵- *فعالیت‌های تجاری و تفریحی* : در ایالات متحده مردم میلیون‌ها دلار را برای به‌دام‌انداختن، صید، تماشا و یا عکس‌برداری از پرندگان و حیوانات و ماهی‌ها که یا در اراضی باتلاقی زندگی می‌کنند و یا برای تأمین غذا و لانه‌سازی به آن وابسته هستند، هزینه می‌کنند. دو نمونه از این وابستگی‌ها بیان می‌شود. اول، جمعیت مرغابی از دهه‌ی ۱۹۴۰ به‌موازات کاهش چاله‌های آبی در مرغ‌زارها تقلیل یافت (شکل ۳-۶ را مشاهده کنید). دوم، صید ماهی صخره‌ای[1] در خلیج چزاپیک[2] به‌دنبال زه‌کشی و تخریب اراضی ساحلی که اساس زنجیره‌ی غذایی آن‌هاست، به‌سرعت کاهش یافت.

۶- *تولیدات طبیعی*: تولیدات باارزش مانند الوار، توت آبی، توت حواصیل، ماهی و برنج وحشی می‌توانند به‌طور پایدار از اراضی باتلاقی خاص در تحت مدیریت آگاهانه برداشت گردند. زیبایی مناظر نیز می‌تواند به‌عنوان یکی از محصولات اراضی باتلاقی مورد ملاحظه قرار گیرد که مردم می‌توانند بدون ایجاد خسارت در نظام از آن لذت ببرند.

۹-۷ فرایندهایی که تحت تأثیر دمای خاک می‌باشند

دمای خاک در فرایندهای فیزیکی، زیستی و شیمیایی که در خاک صورت می‌گیرند بسیار مؤثر می‌باشد. در خاک‌های سرد، میزان واکنش‌های شیمیایی و زیستی پایین است و تجزیه‌ی زیستی تقریباً متوقف است، بنابراین میزان قابل‌استفاده‌بودن عناصر غذایی مانند ازت، فسفر، کلسیم و گوگرد محدود می‌شود. جذب و انتقال آب و مواد غذایی به‌وسیله‌ی گیاهان عالی در دمای پایین متوقف می‌گردد. دمای خیلی بالا می‌تواند از فرایندهای زیستی نباتات و میکروب‌ها ممانعت کند. دامنه‌ی دما برای بسیاری از فرایندهای خاک با چند دمای شاخص درشکل ۱۷-۷ داده شده است.

[1] - Striped bass(rock fish)
[2] - Chesapeake bay

فرایندهای نباتی

میزان رشد اکثر نباتات عملاً به دمای خاک بیشتر حساس است تا دمای بالای سطح زمین، اما این امر خیلی مورد توجه قرار نگرفته است، زیرا اکثراً دمای هوا اندازه‌گیری می‌شود. اکثر گیاهان دارای دامنه دمای باریک‌تری برای رشد بهینه می‌باشند. برای نمونه، دوگونه ذرت و کاج لابلالی، که در مناطق گرم تکوین یافته‌اند، وقتی دمای خاک حدود ۲۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد باشد به‌خوبی رشد می‌کنند. درمقابل، دمای بهینه خاک برای چاودار و افرای قرمز، دو گونه‌ای که در مناطق سرد تکامل یافته‌اند، در دامنه‌ی ۱۸-۱۲ درجه سانتی‌گراد است.

در مناطق خنک معتدل، دمای خاک معمولاً توان تولید محصولات و پوشش طبیعی را محدود می‌کند. با گرم‌کردن خاک عملکرد بعضی از سبزی‌ها و میوه‌های کوچک می‌تواند به‌طور چشم‌گیری افزایش یابد (شکل ۱۸-۷). چرخه‌ی زیستی نباتات نیز به مقدار زیادی تحت تأثیر دمای خاک است. برای مثال، پیاز لاله برای تولید جوانه‌ی گل نیازمند سرمای اول بهار می‌باشد، هرچند گل‌دادن تا گرم شدن خاک تا بعد از بهار بطول می‌انجامد. درمناطق گرم، و در مناطق معتدل در تابستان، ممکن است دمای خاک برای رشد بهینه‌ی گیاه، به‌ویژه در چندسانتی‌متری فوقانی خاک، بسیار بالا باشد. حتی نباتات مناطق گرمسیری، مانند ذرت، در دمای بالاتر از ۳۵ درجه سانتیگراد به‌طور منفی تحت تأثیر قرار می‌گیرند. میزان جوانه‌زدن بذر نیز ممکن است دردمای بالای خاک کاهش یابد. رشد ریشه در نزدیکی سطح ممکن است در اثر سایه‌دارشدن خاک به‌وسیله‌ی گیاهان زنده و پس‌مانده‌های گیاهی و یا استفاده از خاک‌پوش تقویت گردد.

جوانه‌زدن بذر : فرایندهای مخلف نباتی دارای دمای بهینه‌ی مناسبی می‌باشند. یکی از فرایندهای بسیار حساس به دما، جوانه‌زدن بذر است. برای نمونه زارعین می‌دانند که اگر بذر ذرت را در خاک‌های سردتر از ۷ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد بکارند جوانه‌زدن انجام نشده و بذر از بین می‌رود. در همان گونه، رشد بهینه ریشه در دمای ۲۳ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد که مقداری خنک‌تر از دمای بهینه برای رشد ساقه است، صورت می‌گیرد. برای سیب‌زمینی، ایجاد غده‌ها، وقتی دمای خاک ١٦ تا ۲۱ درجه سانتی‌گراد است به بهترین وجه انجام می‌شود، گرچه رشد شاخ و برگ نبات در دمای گرم‌تر خاک به خوبی انجام می‌شود.

بسیاری از گیاهان یک ساله علفی نیازمند دمای خاص برای آغاز جوانه‌زدن می‌باشند، و این امر علت بسیاری از تفاوت‌ها در بین گونه‌های گیاهان هرز در ابتدا و پایان فصل در اراضی زراعی می‌باشد. به‌همین ترتیب، بذر نباتات خاص که در فضاهای خالی جنگل تطابق یافته‌اند. به‌وسیله‌ی دمای حداکثر روزانه بالای سطح خاک، و نوسانات بیشتر دما در خاک که در صورت ازبین‌رفتن تاج‌پوشش آن‌ها براثر برداشت جنگل و یا افتادن درختان به‌وسیله‌ی باد صورت می‌پذیرد تحریک می‌شوند. بذور گیاهان چمنی خاص نیازمند یک دوره دمای سرد (٤-۲درجه سانتی‌گراد) می‌باشند تا آن‌ها را قادر سازد بعد از بهار جوانه زنند؛ به این فرایند بهاره‌شدن گفته می‌شود.

نقش و وظایف ریشه: وظایف ریشه، مانند جذب آب و عناصر غذایی، در خاک‌های سرد با دمای کمتر از بهینه برای گونه‌های خاص کند می‌شود. یکی از پی‌آمدها، کمبود عناصر غذایی، به‌ویژه فسفر است که در نباتات جوان در اول بهار صورت می‌گیرد، این کمبود وقتی از بین می‌رود که خاک در ماه‌های بعد گرم شود. پدیده‌ی سوختن زمستانه[1] برگ نبات یکی دیگر از پی‌آمدهای دمای پایین خاک است که به‌خصوص بوته‌های همیشه سبز دچار آن می‌شوند در یک روز گرم آفتابی در زمستان و اول بهار، هنگامی‌که خاک هنوز سرد است ممکن است گیاهان همیشه سبز دچار خشکی گردیده و حتی از بین روند، زیرا جذب کندآب در خاک سرد به‌وسیله‌ی ریشه‌ها نمی‌تواند با میزان تبخیر بالای آفتاب درخشان در روی پوشش برگی برابری کند. از این مسأله می‌توان با پوشش‌دادن و سایه‌دارکردن بوته‌ها اجتناب کرد.

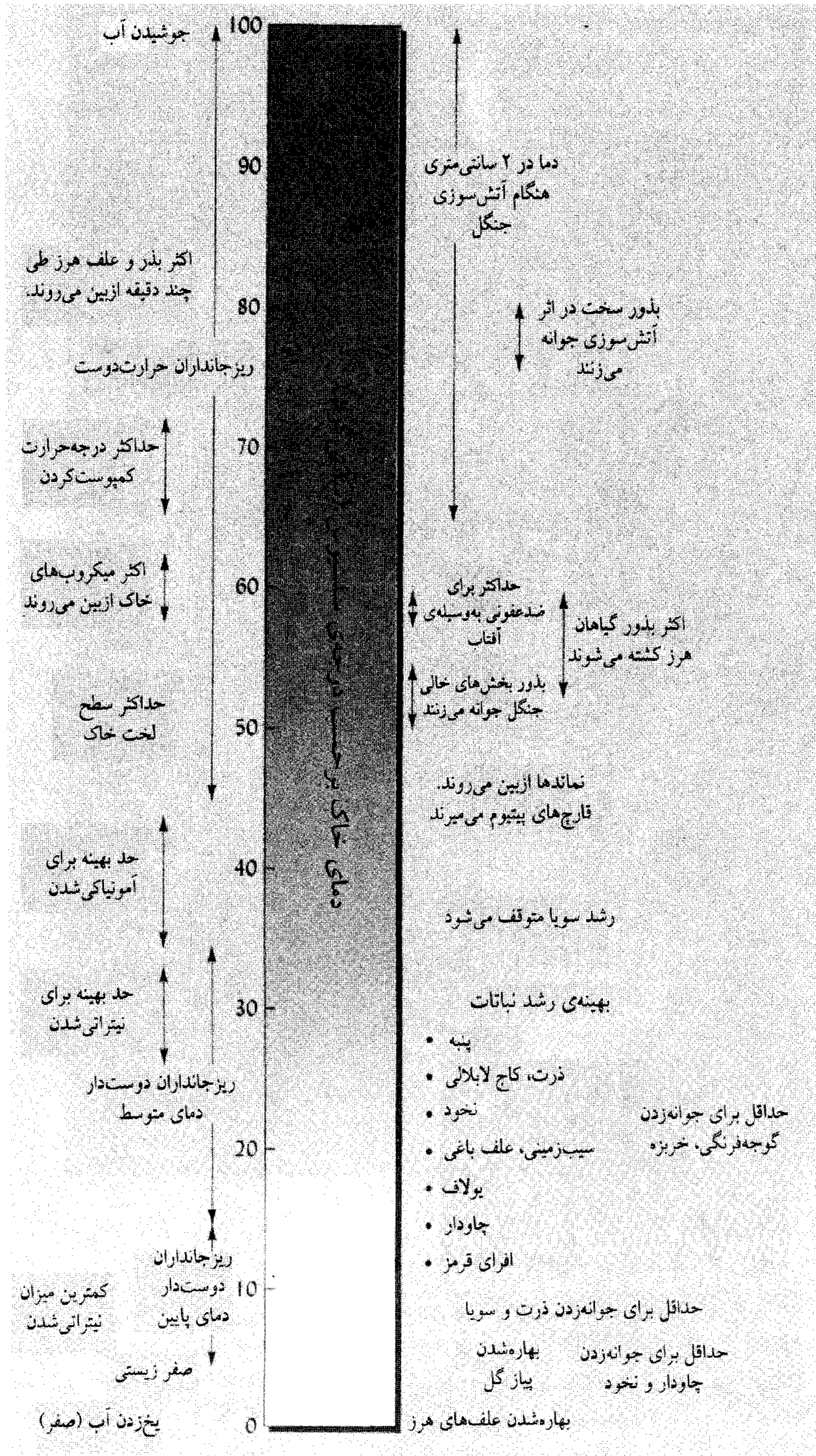
فرایندهای میکروبی

فرایندهای میکروبی به‌طور مشخص تحت تأثیر تغییرات دما می‌باشند. فعالیت میکروبی خاک به‌طور عام، و تجزیه‌ی مواد آلی در زیر ۵ درجه سانتی‌گراد دمای مرجع، که صفر زیستی نامیده می‌شود عملاً متوقف می‌گردد نرخ فرایندهای میکروبی مانند تنفس، برای افزایش هر۱۰ درجه تا دمای ۳۵ تا ٤۰ (به‌طور قابل‌ملاحظه از دمای بهینه برای رشد نبات بالاتر است) بیشتر از ۲ برابر می‌گردد. وابستگی تنفس میکروبی به دماهای زیاد خاک کاربرد مهمی در تهویه خاک (فصل ۸-۷ را ملاحظه کنید) و تراکم ماده‌ی آلی دارد.

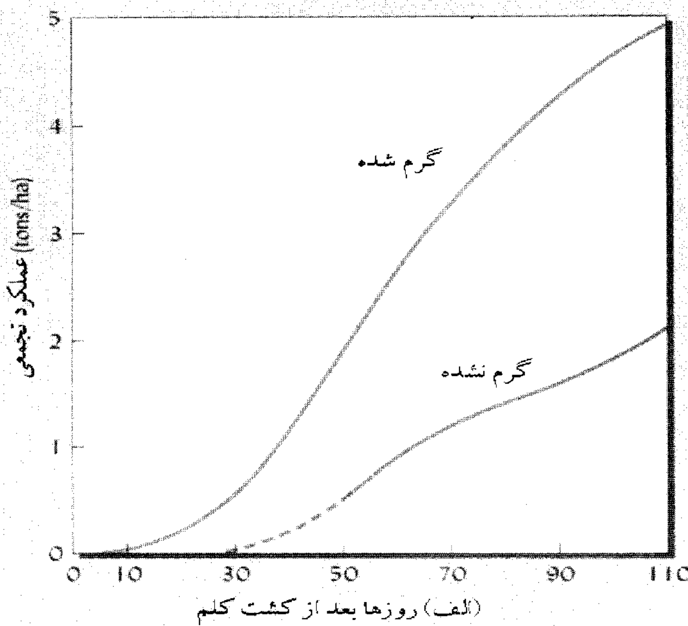
در دمای پایین نه‌تنها تنفس کاهش می‌یابد، بلکه تجزیه پس‌مانده‌های گیاهی و بنابراین چرخه‌ی عناصر غذایی موجود درآن‌ها نیز کاهش می‌یابد. توان تولید جنگل‌های شمالی (منطقه سرد[2]) احتمالاً به‌خاطر اثرات محدودکننده دمای پایین خاک برروی بازچرخ میکروبی، و آزاد شدن ازت از لاشبرگ درختان و ماده‌ی آلی، کاهش می‌یابد.

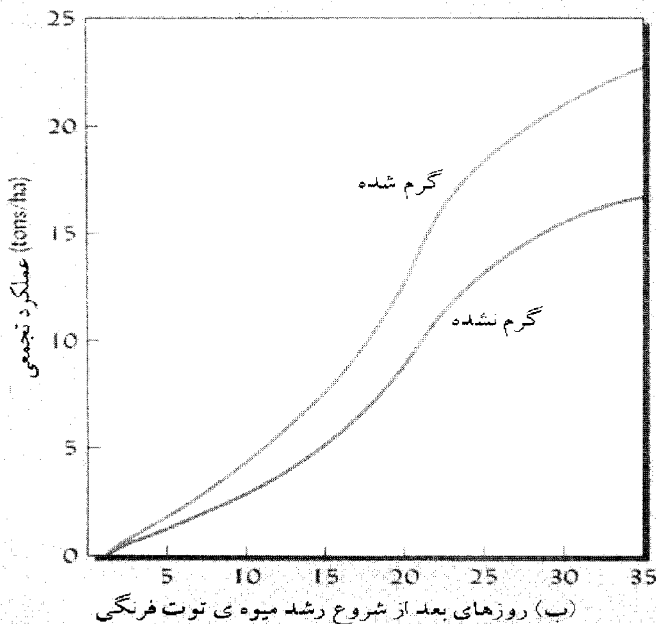
---

[1]-Winter burn
[2]- Boreal



شکل ۱۷-۷ تغییرات دمای خاک همراه با فرایندهای مختلف خاک





شکل ۱۸-۷ تأثیر گرم کردن خاک در یک آزمایش در ایالت اورگن آمریکا بر عملکرد کلم بروکسل و توت فرنگی. نظام‌های گرم کننده در عمق ۹۲ سانتی‌متر جای‌گذاری گردید و سبب افزایش دمای متوسط خاک در عمق ۱۰۰-۰ سانتی‌متری به میزان ۱۰ درجه سانتی‌گراد گردید. هرچند دمای فوقانی خاک فقط ۳ درجه سانتی‌گراد گرم‌تر گردید.

اکسایش میکروبی ین آمونیوم به ین نیترات که در دمای نزدیک ۳۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به‌سهولت انجام می‌پذیرد وقتی دمای خاک کم و در حدود ۸ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد است، قابل اغماض می‌باشد. زراعین در مناطق سرد می‌توانند با تزریق کودهای آمونیاکی به‌داخل زمین سرد در بهار از این واقعیت، با علم به اینکه یون‌های آمونیوم تا مادامی‌که دمای خاک افزایش نیابد، به ین نیترات تبدیل نخواهند شد، بهره گیرند، زیرا ین‌های نیترات به آسانی از خاک آبشویی می‌شوند، درحالی‌که ین‌های آمونیوم آبشویی نخواهند شد (فصل ۸-۱۳ را مشاهده کنید)، ازت تا گرم شدن دمای خاک در فصول بعد نگهداری خواهد شد. سپس نیترات شروع به ظاهرشدن می‌کند اما گیاهان باید به‌سرعت رشد کرده و از نیترات استفاده کنند (فصل ۱۳ را مشاهده کنید). متأسفانه در بعضی سال‌ها یک دوره گرم امکان تولید نیترات را زودتر از آن‌چه که انتظار می‌رود فراهم می‌سازد، و درنتیجه اکثر نیترات در اثر آبشویی تلف می‌گردد، که هم برای زارع و هم کیفیت آب در پایین دست زیان‌آور خواهد بود.

دمای بالای خاک می‌تواند برای مهار بعضی از امراض نباتی مورد استفاده قرار گیرد در اقالیم با تابستان‌های گرم و آفتابی با دماهای روزانه بیشتر از ۳۵ درجه سانتی‌گراد، پوشاندن زمین با لایه‌های پلاستیک شفاف می‌تواند سبب بالارفتن دمای چند سانتی‌متر فوقانی خاک به ۵۰ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد گردد. این دماها بعضی از امراض قارچی پژمردگی سبزی‌ها و میوه‌ها را کاهش داده و در بعضی از بذور گیاهان هرز و حشرات تأثیر منفی خواهد داشت، این فرایند که ضدعفونی خورشیدی[1] خاک نامیده می‌شود برای مهار آفات و امراض در بعضی از زراعت‌های گرانبها مورد استفاده می‌باشد.

همان‌طورکه در فصل ۱۸ خواهیم دید، دمای بالای خاک برای تجزیه آفت‌کش‌های آلی سمی و آلاینده‌ها در خاک به‌وسیله‌ی میکروب‌ها حیاتی می‌باشد. تنظیم دما برای برخی از فناوری‌های جدید، که از توانایی بعضی از ریزجانداران در تجزیه محصولات نفتی و سایر ترکیبات استفاده کنند، اساسی می‌باشد.

یخ‌زدن و ذوب

وقتی دمای خاک در بالا و پایین صفر درجه سانتی‌گراد نوسان می‌کند آب خاک در چرخه‌های یخ‌زدن و ذوب آن قرار می‌گیرد. تناوب یخ‌زدن و ذوب با تشکیل محدوده‌های یخ خالص در داخل خاک که به آن‌ها عدسی‌های یخ اطلاق می‌شود، و تشکیل بلورهای یخی و انبساط[2] آن‌ها سبب ایجاد فشار برخاکدانه‌ها می‌شود، این فشار سبب تغییر ساختمان فیزیکی خاک می‌گردد. در یک خاک اشباع با ساختمان گلخراب، یخ‌زدن سبب خرد شدن توده‌های بزرگ گردیده و سبب بهبود خاکدانه‌ای شدن می‌گردد. برعکس، در خاک‌هایی با خاکدانه‌های مناسب، در صورت مواجه شدن خاک خیلی مرطوب با یخ‌زدن و ذوب آن، سبب تخریب ساختمان خاک می‌شود.

تناوب یخ‌زدن و ذوب آن سبب بالاآمدن اشیاء در خاک می‌شود فرایندی که به آن ورآمدن یخی[3] گفته می‌شود. موادی‌که تحت تأثیر ورآمدن قرار می‌گیرند، شامل سنگ‌ها، تیرهای حصارکشی، و نباتات چندساله با ریشه‌ی راست می‌باشند. این فرایند هنگامی‌که خاک دارای بافت سیلتی، مرطوب و فاقد پوشش برف و یا پوشش متراکم گیاهی باشد، بسیار شدید بوده می‌تواند سبب کاهش استقرار یونجه (شکل ۱۹-۷)، بعضی شبدرها و سه‌پر[4] (شبدر وحشی) گردد.

یخ‌زدن می‌تواند سبب ورآمدن پی‌های کم عمق، جاده‌ها و باندهای پرواز که دارای مواد ریزبافت در زیر می‌باشند، گردد. سنگ‌ریزه و شن خالص معمولاً در مقابل خسارات ناشی از یخ‌زدن مقاومند، اما خاک‌های سیلتی و شنی با مقادیر اندک از ذرات ریز مخصوصاً حساس می‌باشند، خاک‌های بسیار غنی از رس معمولاً ورایش زیادی از خود بروز نمی‌دهند، اما جداسازی ناشی از عدسی‌هایی یخی می‌توانند در اینجا نیز صورت گرفته و منجر به کاهش مقاومت هنگام ذوب شدن یخ گردد. برای جلوگیری از دمای یخ‌زدن، ریشه پی‌ها (و همینطور لوله‌های آب) باید در پایین‌تر از حداکثر عمق یخ‌زدن قرار گیرند. این دامنه از ۱۰ سانتی‌متر در مناطق نیمه‌گرمسیر مانند تگزاس جنوبی و فلوریدا تا بیشتر از ۲ متر در اقالیم خیلی سرد متغیر است.

خاک‌های دارای عدسی‌های یخی ممکن است دارای آبی بیشتر از آن‌چه که برای اشباع خاک درحالت یخ‌نزده لازم است باشند. وقتی عدسی‌ها یخی ذوب می‌شوند خاک فوق اشباع گردد، زیر آب اضافی، به‌دلیل یخ‌زدن لایه‌های تحتانی نمی‌تواند از خاک خارج شود. خاک در این حالت به آسانی به صورت گل غیرچسبنده در آمده که بسیار به فرسایش و لغزش گلی حساس می‌باشد.

گرم شدن خاک به‌وسیله‌ی آتش‌سوزی

آتش‌سوزی یکی ازمهم‌ترین عوامل به‌هم‌زدن بوم‌سامان درطبیعت می‌باشد. علاوه بر اثرات آشکار آتش‌سوزی‌های جنگل، مرتع و پسمانده های گیاهی درسطح زمین ممکن‌است تغییرات کوتاه اما شدید دما دربعضی مواقع دارای اثرات طولانی‌مدت باشد بالارفتن دما معمولاً خیلی کوتاه و محدود به چندسانتی‌متر فوقانی خاک است، مگراین‌که آتش‌سوزی به‌طور مصنوعی و با اضافه‌کردن سوخت تداوم داشته باشد.

حرارت ممکن است در تخریب و حرکت ترکیبات آلی مؤثر باشد. شکل ۲۰-۷ نتایج یکی از این آتش‌سوزی‌های سرکش را بر جنگل کاج در ایالت اورگن نشان می‌دهد. دماهای بالا (بیشتر از ۱۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد) سبب تقطیر بخش‌های مختلف ماده‌ی آلی شده و بعضی

---

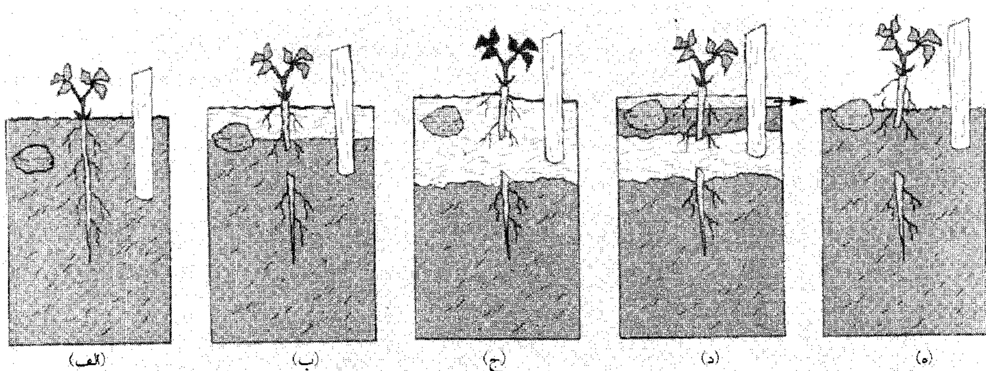
[1]- Solarization

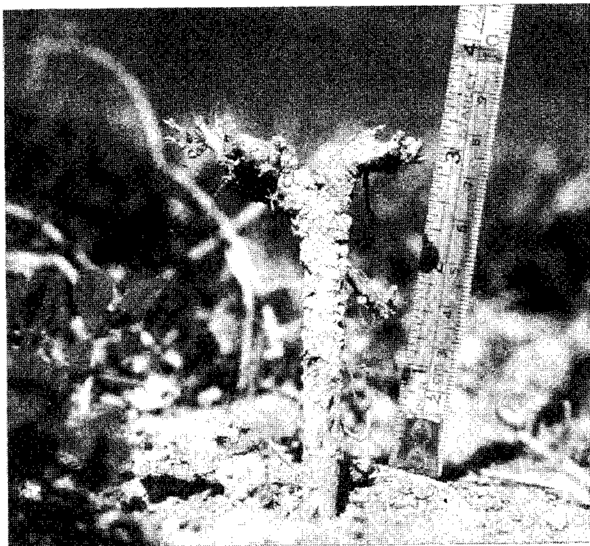
[2] - فشار عمدتاً در اثر رشد عدسی های یخی است نه ۹ درصد انبساط حجم آب در اثر یخ بندان. عدسی های یخی با بیرون کشیدن آب از مناطق یخ نزده مجاور منطقه یخ زده، رشد می یابد. جریان آب به عدسی های یخی در حالت رشد از این واقعیت ناشی می شود که ذرات ریز خاک با یک لایه نازک آب مایع (غیر یخ زده) با دماهای زیر نقطه معمول یخ‌زدن، پوشیده می شود. پایین آمدن نقطه یخ زدن به دو دلیل صورت می گیرد ۱- تعامل آب و بخش جامد نزدیک سطح ذرات و ۲- حضور یون های محلول و قابل تبادل در داخل این لایه نازک آب

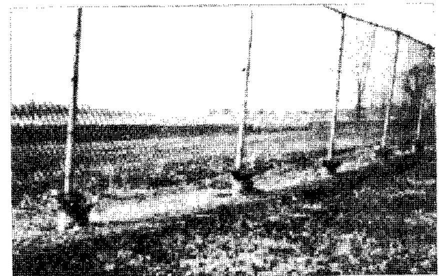
[3]- Frost heaving

[4] - Trefoil

از ترکیبات فرار هیدروکربن به‌سرعت در داخل خاک به مناطق عمیق‌تر و سردتر حرکت می‌کنند. با رسیدن این ترکیبات به ذرات سردتر در اعماق خاک، بر روی آن‌ها متراکم شده (سخت شدن[1]) و بعضی از منافذ اطراف را پر می‌کنند. بعضی از این مواد متراکم شده، هیدروکربن‌های دافع آب (آب‌گریز) می‌باشند. درنتیجه وقتی باران می‌بارد، نفوذ آب حتی در یک خاک شنی درمقایسه با خاک شنی مجاور فاقد آتش‌سوزی به‌مقدار زیادی کاهش می‌یابد. این اثرات دمای خاک در اراضی بوته‌زار[2] در مناطق نیمه‌خشک معمول بوده و ممکن است عامل لغزش‌های گلی مصیبت‌باری باشد که در صورت اشباع لایه فوقانی منطقه‌ی آب‌گریز صورت می‌گیرد.




(و)

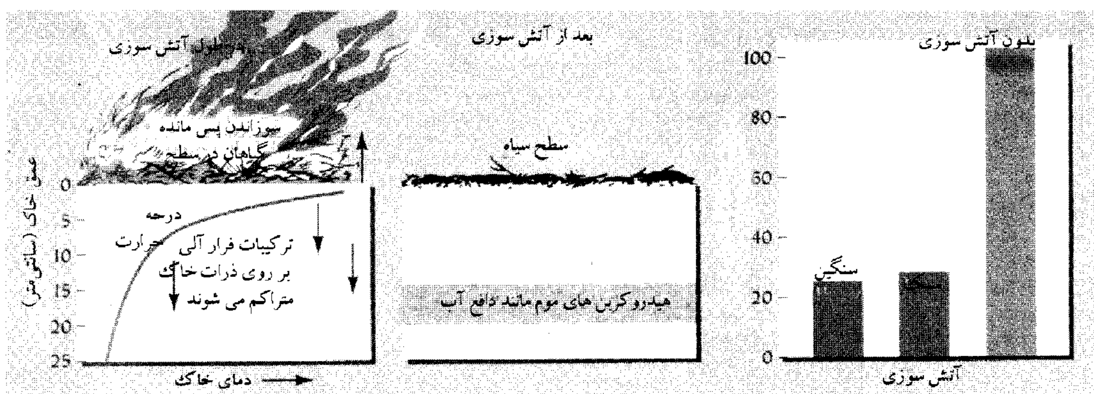

(ز)

شکل ۱۹-۷ چگونه ورآمدن یخی سبب بالاآمدن اشیاء می‌شود. (الف)موقعیت اشیاء (سنگ، نبات و پایه‌ی حصارکشی) قبل از یخ‌زدن خاک. (ب)به‌محض تشکیل عدسی‌های یخی در خاک یخ‌زده براثر جذب آب از خاک یخ نزده زیر، خاک یخ‌زده دراطراف بخش فوقانی جسم محکم می‌شود و تا اندازه‌ای آن‌را بلند می‌کند. به‌طوری‌که برای بریدن ریشه نباتات کافی می‌باشد. (ج)با پیشرفت تشکیل عدسی‌های یخی و با توسعه‌ی عمیق‌تر جبهه یخ، جسم به طرف بالا بلند می‌شود. (د)همانند یخ‌زدن ذوب یخ ازسطح آغاز و به‌طرف پایین پیشرفت می‌کند، آب از ذوب عدسی‌های یخی درسطح جاری می‌شود زیرا نمی‌تواند از داخل خاک یخ‌زده به طرف پایین زه‌کشی شود. سطح خاک درحالی‌که جسم ورآمده در اثر یخ‌زدن بخش‌های پایین خود به صورت قائم می‌باشد، نشست می‌کند.(ه)بعد از ذوب‌شدن کامل، سنگ به‌سطح خاک نزدیک‌تر از قبل است (گرچه به‌ندرت در سطح قرار می‌گیرد مگر اینکه فرسایش در خاک ذوب شده انجام گیرد) و بخش فوقانی ریشه بریده شده نبات ظاهر می‌شود. به‌طوری‌که احتمال دارد که نبات از بین برود. (و)ریشه‌ی یونجه که براثر عمل یخبندان از خاک بیرون آمده است. (ز)تیرهای حصارکشی که در بتن قرار گرفته و به‌طور مرتب به‌وسیله‌ی عمل یخبندان طی چند سال بلند شده‌اند.

---

[1] - Solidify
[2] - Chaparral land

آتش‌سوزی‌ها همچنین در جوانه‌زدن بذوری خاص که دارابودن پوسته سخت مانع از جوانه‌زنی می‌باشند (مگراین‌که تا دمای ۸۰-۷۰ درجه سانتی‌گراد گرم شوند) مؤثرند. از طرف دیگر، سوزاندن کاه و کلش در مزارع گندم دمای مشابهی در خاک ایجاد نموده، با این تفاوت که سبب ازبین‌رفتن بذور و اکثر گیاهان هرز در نزدیک سطح شده، و درنتیجه سبب کاهش شدید آلودگی گیاهان هرز در فصل آتی می‌گردد. گرما و خاکستر ممکن است چرخه‌ی عناصر غذایی را تسریع کنند (فصل ۱۶را مشاهده کنید). آتش‌سوزی‌هایی که برای پاک‌کردن اراضی و بقایای تنه درختان ایجاد می‌شوند ممکن است چنان طولانی تداوم داشته و دمای آن بالا باشد که سبب تخلیه‌ی شدید ماده‌ی آلی و ازبین‌رفتن بسیاری از موجودات خاکزی گردد، به‌طوری‌که از رشد مجدد جنگل ممانعت کند.



شکل۲۰ـ۷(سمت چپ عکس) آتش‌سوزی در یک جنگل کاج سبب گرم‌شدن لایه‌ی سطحی یک خاک شنی(انسپتی‌سول) در ایالت اورگون شده است. (وسط عکس) توجه کنیدکه دما در نزدیک خاک چنان بالا رفته است که برای فرار ترکیبات آلی کفایت می‌کند، بعضی از این ترکیبات داخل خاک به پایین حرکت کرده و در سطح ذرات سردتر خاک تمرکز می‌یابند. این ترکیبات متراکم شده هیدروکربن‌های موم‌مانند بوده و دافع آب می‌باشند درنتیجه (سمت راست) نفوذ در داخل خاک به‌طور شدید کاهش یافته و برای مدت حداقل ٦ سال همین‌طور باقی می‌ماند.

۱۰ـ۷ جذب و هدررفت انرژی خورشیدی

دمای خاک‌ها در مزرعه به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم حداقل وابسته به سه عامل می‌باشد (۱)مقدار انرژی گرمایی خالص که خاک جذب می‌کند. (۲)مقدار انرژی گرمایی لازم برای تغییر مورد نظر در دمای خاک و (۳)انرژی لازم برای فرایندهایی مانند تبخیر که به‌طور دایم در سطح و یا نزدیکی سطح خاک صورت می‌پذیرد.

تابش خورشیدی[1]: منبع اصلی انرژی گرم کننده‌ی خاک است، اما ابرها و ذرات گرد و غبار سبب ممانعت از اشعه‌ی آفتاب شده اکثر انرژی آن را پخش، جذب و یا منعکس می‌کنند (شکل۲۱ـ۷) فقط حدود ۳۵ تا ۴۰ درصد تابش خورشیدی در مناطق مرطوب ابر، و ۷۵ درصد تابش در مناطق خشک فاقد ابر در واقع به سطح زمین می‌رسد میزان دریافت میانگین جهانی ۵۰ درصد است.

بخش اندکی از انرژی آفتاب که به زمین می‌رسد در واقع صرف گرم‌شدن خاک می‌شود. انرژی اساساً برای تبخیر آب از خاک و یا سطوح برگ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، و به‌صورت تابش و بازتاب به آسمان باز می‌گردد. فقط حدود۱۰درصد جذب خاک شده و می‌تواند برای گرم‌شدن آن مورد استفاده قرار گیرد. با وجود انرژی مزبور دارای اهمیت حیاتی برای فرایندهای خاک وسایر گیاهان عالی درحال رشد بر روی آن می‌باشد.

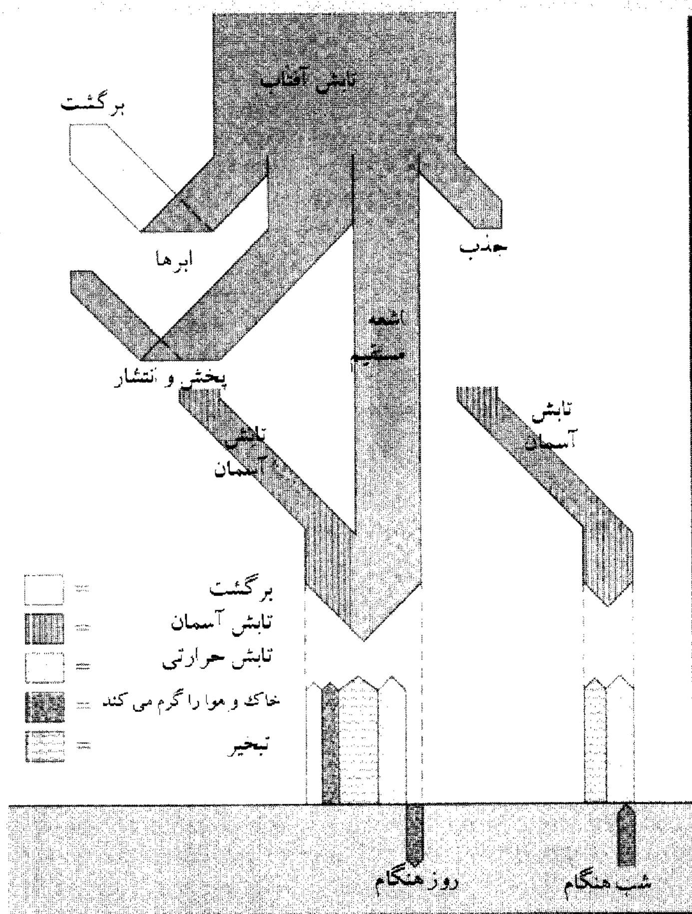
بازتاب[2]: بخشی از تابش خورشید که به‌وسیله‌ی سطح خاک برگشت می‌یابد بازتاب نام دارد و از ۰/۱ تا ۰/۲ در خاک‌های تیره با سطوح ناهموار تا ۰/۵ در خاک صاف با رنگ روشن متغیر است. پوشش گیاهی نیز بر بازتاب سطحی، بسته‌به این‌که دارای رنگ سبز تیره، در حال رشد و یا زرد و درحال خواب باشد مؤثر است.

این واقعیت که خاک‌های سیاه‌رنگ انرژی بیشتری از خاک‌های روشن دریافت می‌دارند، همیشه به این‌معنی نیست که خاک‌های سیاه همیشه گرم‌تر می‌باشند در واقع عکس آن صادق است. در اکثر چشم‌اندازها خاک سیاه در نقاط پست واقع شده و رطوبت اضافی سبب

1 - Solar radiation
2 - Albedo

تمرکز ماده‌ی آلی گردیده است. بنابراین خاک‌های سیاه معمولاً مرطوب‌ترین نیز می‌باشند. آب موجود در این خاک‌ها برای گرم شدن، انرژی زیادی می‌خواهد و هنگام تبخیر نیز سبب خنک‌شدن خاک می‌گردد.

جبهه‌ی شیب: زاویه‌ای که اشعه‌ی آفتاب تحت آن به سطح خاک برخورد می‌کند در دما خاک مؤثر است. اگر آفتاب در وسط آسمان بالای سر باشد مسیر اشعه های وارده عمود بر سطح خاک بوده و جذب انرژی (و افزایش دما ی خاک) بیشترین مقدار می باشد. (شکل ۲۲-۷). برای نمونه، سه خاک، یکی در شیب جنوبی با زاویه شیب ۲۰ درجه، دومی در یک مزرعه نسبتاً مسطح و سومی در یک شیب شمالی با زاویه‌ی ۲۰ درجه، میزان انرژی حاصل از اشعه آفتاب را در ۲۱ ژوئن در مدار۴۲ درجه‌ی شمالی به نسبت ۱۰۶:۱۰۰:۸۰ دریافت می‌دارند. اثر جهت شیب و یا جبهه شیب بر روی گونه‌های جنگلی در عکس شکل ۲۲-۷ تشریح شده است.

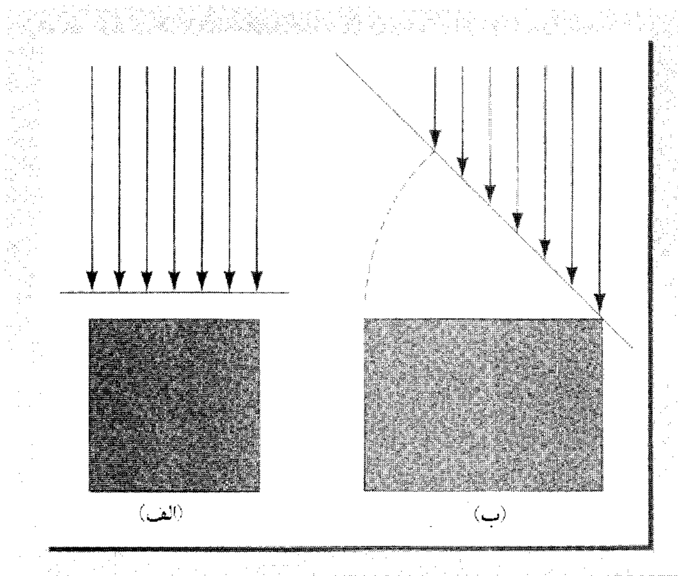


شکل ۲۱-۷ نمایش تعادل تابش در روز هنگام و شب هنگام در بهار و اول تابستان در یک منطقه‌ی معتدل. حدود نصف تابش خورشیدی چه به‌صورت مستقیم و چه به‌صورت غیرمستقیم از طریق تابش آسمانی به زمین می‌رسد. بیشتر انرژی رسیده به خاک در روز هنگام صرف تبخیر و تعرق گردیده، و یا به‌صورت تابش به نیوار باز می‌گردد. فقط بخش کوچکی شاید۱۰درصد در واقع سبب گرم‌شدن خاک می‌شود. در شب خاک مقداری گرما از دست داده و مقداری نیز تبخیر و تابش گرمایی صورت می‌گیرد.

کشت گیاهان در روی پشته‌های خاکی روشی برای تنظیم جبهه‌ی شیب در مقیاس کوچک می‌باشد. این عمل به‌طور بسیار مؤثری در ارتفاعات بالا با کشت محصولات در جبهه‌های رو به جنوب و یا جنوب غربی پشته انجام می‌گیرد. پشته‌ها باید فقط ۲۵ سانتی‌متر ارتفاع داشته تا دارای اثرات عمده آشکار گردند. در منطقه فایر بانک[1] آلاسکا دما خاک در وسط روز (در عمق ۱ سانتی‌متر) در اول ماه مه در جبهه جنوبی حدود ۱۵ درجه‌ی سانتی‌گراد از جبهه شمالی و ۸ درجه از زمین مسطح بیشتر است

بارندگی: اثرات مربوط به بارندگی و آبیاری در دمای خاک نیز باید موردتوجه قرار گیرد. برای مثال در مناطق معتدل، باران‌های بهاره با ورود آب باران به داخل خاک سبب گرم شدن خاک سطحی می‌شود. برعکس از آنجاکه بارندگی در تابستان خنک‌تر از خاکی است که در داخل آن انتشار می‌یابد، سبب خنک‌شدن خاک می‌شود. هرچند در بارندگی‌های بهاره، افزایش میزان انرژی مصرف شده برای تبخیر آب خاک اغلب سبب تشدید مسایل ناشی از دمای پایین می‌شود.

[1] - Fair bank





شکل ۲۲-۷ (بالا) تأثیر زاویه برخورد اشعه‌ی آفتاب با خاک برروی سطحی از خاک که گرم می‌شود. (الف)اگر مقدار به‌خصوصی تابش آفتاب با زاویه‌ی راست به خاک برخورد کند. تابش دریک منطقه کوچکی متمرکز خواهد شد و خاک به‌سرعت گرم خواهد شد. (ب)اگر همان تابش با زاویه‌ی ٤٥ درجه به خاک برخورد کند سطح منطقه تحت تأثیر حدود ٤١ درصد افزایش خواهد یافت و تابش به اندازه حالت اول متمرکز نشده و خاک به آرامی گرم خواهد شد این یکی از دلایلی است که چرا شیب‌های شمالی خاک‌های سردتری در مقایسه با خاک‌های شیب‌های جنوبی دارند و همین مسأله دلیل سردبودن خاک در زمستان در مقایسه با تابستان می‌باشد. (پایین) یک منظره رو به شرق در یک منطقه جنگلی ایالت ویرجینا که اثر دما را تشریح می‌کند. برجستگی اصلی (از چپ به راست) در امتداد شمال به جنوب و برجستگی‌های کوچک کناری از شرق به غرب کشیده شده‌اند. (بالا و پایین) لکه‌های سیاه در این جنگل که درختان سخت‌چوب برگ‌ریزان غلبه دارند، کاج می‌باشند. کاج‌ها در شیب‌های جنوبی (گرم و خشک) در برجستگی‌های شرقی غربی غالب می‌باشند.

پوشش خاک : عریان‌بودن خاک و یا داشتن پوشش گیاهی، خاک‌پوش و یا برف عامل دیگری است که بر روی تابش خورشیدی رسیده به خاک بسیار مؤثر است. خاک‌های فاقد پوشش با سرعت بیشتری از خاک‌های دارای پوشش (نباتی، برف و خاک‌پوش پلاستیکی) گرم شده و گرمای خود را از دست می‌دهند. نفوذ یخبندان در ماه‌های زمستان در اراضی عریان و فاقد پوشش عایق به مراتب بیشتر است.

حتی گیاهان دارای رشد کند مانند چمن دارای تأثیر قابل توجهی بر دمای خاک و دمای محیط اطراف می‌باشند (جدول ٦-٧). بسیاری از اثرات خنک‌کننده این گیاهان به‌خاطر گرمای از دست رفته براثر تعرق می‌باشد. برای تجربه‌کردن این اثر در یک روز گرم داغ، به‌جای یک چمن سبز در حال رشد بر روی آسفالت توقف‌گاه بنشینند.

اثرات یک جنگل متراکم در مقیاس جهانی شناخته شده است، عملیات برداشت جنگل که پوشش کافی برای ایجاد ٥٠٪ سایه باقی گذارد، از گرم‌شدن بی‌رویه‌ی خاک که سبب تسریع تجزیه ماده‌ی آلی و یا آغاز فعالیت غیرهوازی در خاک مرطوب می‌شود ممانعت می‌کند. اثر برداشت الوار بر دمای خاک تا عمق ٥٠ سانتی‌متر در جدول ۲-۷ قابل مشاهده است. در موردی‌که درجدول ۲-۷ عرضه شده است، برداشت درخت سبب گرم‌شدن خاک در بهار گردید، گرچه میزان آب خاک را نیز بالا برد. هرچند، همان‌طورکه ما در فصل بعد مشاهده خواهیم کرد. میزان آب بیشتر خاک به‌طور معمول سبب کندی گرم‌شدن خاک در بهار گردد.

۱۱-۷ خصوصیات گرمایی خاک‌ها

گرمای ویژه خاک‌ها

یک خاک خشک با سهولت بیشتری در مقایسه با خاک مرطوب گرم می‌شود، و این به‌دلیل مقدار انرژی لازم بیشتر جهت بالابردن دمای آب به‌میزان یک درجه‌ی حرارت سانتی‌گراد (گرمای ویژه‌ی آب) درمقایسه با بالابردن دمای همان مقدار مواد جامد خاک به‌میزان یک درجه‌ی سانتی‌گراد می‌باشد. وقتی ظرفیت حرارتی در واحد جرم بیان شود مثلاً کالری در گرم به آن گرمای ویژه اطلاق می‌گردد. گرمای ویژه آب خالص یک کالری در گرم و یا هزار کالری در کیلوگرم (٤/١٨ ژول در گرم)، و گرمای ویژه‌ی خاک خشک ۰/۲ کالری در گرم می‌باشد.

گرمای ویژه، میزان گرم شدن خاک را در بهار تا حد زیادی اداره می‌کند، خاک‌های مرطوب‌تر، آهسته‌تر از خاک‌های خشک، گرم می‌شوند (تابلو۲-۷ را مشاهده کنید). به‌علاوه اگر آب آزادانه از خاک مرطوب زه‌کشی نشود باید تبخیر گردد، فرایندی که همان‌طورکه در فصل بعد مشخص خواهد شد، مصرف‌کننده انرژی زیادی می‌باشد.

جدول ٦-٧ دمای حداکثر سطح برای چهار نوع سطح در یک روز آفتابی در کالج استیشن[1] در تگزاس

نوع سطح	بیشینه‌ی دما سانتی‌گراد روز	بیشینه‌ی دما سانتی‌گراد شب
چمن سبزرنگ در حال رشد	۳۱	٢٤
خاک بدون پوشش خشک	۳۹	٢٦
علف در حال خواب تابستانی قهوه‌ای رنگ	٥۲	۲۷
چمن ورزشی مصنوعی خشک	۷۰	۲۹

نظام‌های تنظیم دما که به‌عنوان پمپ‌های گرمایی مشهورند[2] که هم برای گرم‌کردن و هم برای سردکردن ساختمان‌ها طراحی می‌شوند، از گرمای ویژه‌ی بالای خاک‌ها استفاده می‌کنند. یک شبکه از لوله‌ها در زیر زمین نزدیک ساختمان تعبیه می‌شوند تا در حداکثر تبادل گرمایی تماسی، با خاک گرم و یا سرد شوند. با بهره‌گیری از این واقعیت که خاک‌های تحت‌الارضی معمولاً در زمستان گرم‌تر از نیوار و در تابستان سردتر از آن می‌باشند، آبی که در داخل شبکه در گردش است حرارت را از خاک در طول زمستان جذب کرده و در تابستان حرارت خود را از دست می‌دهد. گرمای ویژه‌ی بالای خاک امکان تبادل انرژی زیادی را بدون تغییر دمای خاک، به مقدار زیاد امکان‌پذیر می‌سازد. (شکل ۲۳-۷).

[1] - College station
[2] - Heat pumps



شکل۲۳ـ۷ این دبیرستان در ایالت اکلاهما در داخل زمین ساخته شده و فقط یک طرف آن در زمین آشکار است. این طرح از گرمای ویژه‌ی بالا و هدایت گرمای پایین لایه‌های خاک اطراف ساختمان بهره گرفته و سبب گرم ماندن مدرسه در زمستان، و خنک ماندن آن در تابستان، با حداقل مصرف انرژی برای گرم کردن و یا سردکردن گردد.

گرمای تبخیر

تبخیر آب از سطح خاک نیازمند انرژی زیادی می‌باشد، ۵٤۰ کیلوکالری و یا ۲۲۵۷ کیلوژول برای تبخیر هر کیلوگرم آب لازم است. این انرژی باید از تابش خورشیدی، و یا از خاک اطراف کسب گردد. در هر دو مورد، تبخیر دارای توان سردکردن خاک است، همانند چاییدن شخصی که به‌دنبال شناکردن با وزش باد مواجه شود.

برای مثال، اگر میزان آبی که در۱۰۰ گرم خاک است براثر تبخیر از ۲۵ گرم به ۲٤ گرم کاهش یابد (حدود ۱٪ کاهش رطوبت) و اگر تمام انرژی گرمای مورد نیاز برای تبخیر از خاک مرطوب به‌دست آید، خاک حدود ۱۳/۵ درجه سانتی‌گراد سرد خواهد شد. البته این رقم فرضی است، زیرا فقط بخشی از گرمای تبخیر از خود خاک تأمین می‌شود، هرچند رقم بیانگر تأثیر سرسام‌آور تبخیر بر کاهش دماست.

دمای پایین یک خاک مرطوب از یک‌طرف مربوط به تبخیر و از طرف دیگر مربوط به گرمای ویژه‌ی بالا است. دمای چند سانتی‌متر بالایی یک خاک خیس معمولاً ۳ تا ٦ درجه‌ی سانتی‌گراد پایین‌تر از یک خاک مرطوب و یا خشک می‌باشد. این مسأله عامل مهمی در بهار در یک منطقه معتدل است، زیرا فقط چند درجه حرارت می‌تواند سبب جوانه‌زدن و یا جوانه‌نزدن بذور گردیده، و یا آزادشدن و یا آزادنشدن عناصرغذایی از ماده‌ی آلی را به‌وسیله‌ی میکروب‌ها به‌دنبال داشته باشد.

هدایت گرمایی خاکها[1]

همان‌طورکه در بخش ۱۰-۷ نشان داده شد، بخشی از تابش خورشیدی که به زمین می‌رسد عمدتاً به‌وسیله‌ی هدایت حرارتی به آهستگی در خاکرخ نفوذ می‌کند. این همان فرایندی است که به‌وسیله‌ی آن گرما در داخل یک لوله‌ی آهنی وقتی یک انتهای آن در آتش قرار می‌گیرد حرکت کند. حرکت گرما در خاک مشابه حرکت آب است (بخش ۵-۵ را مشاهده کنید). نرخ جریان به‌وسیله‌ی یک نیروی پیش‌برنده و سهولت جریان گرما در داخل خاک تعیین می‌شود، که به‌وسیله‌ی قانون فوریر مطابق زیر بیان گردد.

$$Q_h = k.\Delta T/x$$

که در آن Q_h میزان جریان گرما، و یا مقدار گرمایی است که از واحد سطح مقطع جریان در واحد زمان عبور می‌کند. k عبارت است از هدایت گرمایی خاک و $\Delta T/x$ عبارت است از شیب دمایی در فاصله‌ی x که به‌عنوان نیروی پیش برنده هدایت گرما عمل می‌کند.

هدایت گرمایی (k) خاک تحت تأثیر تعدادی از عوامل است که مهم‌ترین آن‌ها میزان آب خاک و تراکم آن است، عبور گرما از داخل آب چندین بار سریع‌تر از عبور آن از هوا است. وقتی میزان آب خاک افزایش می‌یابد میزان هوا کاهش یافته و مقاومت به انتقال گرما به گونه‌ای چشم‌گیر پایین می‌آید. وقتی که آب کافی برای ایجاد پل ارتباطی بین اکثر ذرات خاک موجود باشد، آب اضافی اثر کمی بر هدایت گرمایی دارد. حرارت از داخل ذرات معدنی حتی سریع‌تر از داخل آب حرکت می‌کند؛ بنابراین وقتی تماس ذره با ذره براثر تراکم خاک افزایش می‌یابد، میزان انتقال حرارت نیز فزون می‌گردد. بنابراین، یک خاک مرطوب متراکم فقیرترین عایق و یا بهترین هادی گرماست. در این‌جا نیز ارتباط داخلی خصوصیات خاک آشکار می‌شود.

یک خاک نسبتاً خشک یک عایق بسیار خوب را ایجاد می‌کند. ساختمان‌های ساخته شده عمدتاً در زیرزمین می‌توانند هم از هدایت گرمایی اندک و هم از ظرفیت گرمایی زیاد حجم عظیمی از خاک استفاده کنند(شکل ۲۳ـ۷).

درک اهمیت هدایت گرمایی در ارتباط با خاک‌های مزارع چندان مشکل نیست. هدایت گرمایی خاک وسیله‌ای برای تنظیم دما فراهم نموده اما از آن جاکه کند می‌باشد، دمای خاک طبقات زیر از تغییرات طبقات سطحی عقب می‌مانند. به‌علاوه تغییرات دما در خاک تحت‌الارض اندک می‌باشد. به‌طورکلی در مناطق معتدل انتظار بر این است که خاک‌های سطحی در تابستان گرم‌تر و در زمستان سردتر از خاک‌های تحت‌الارض، به‌خصوص طبقات زیرین آن باشند. هدایت گرمایی خاک می‌تواند در دمای هوای بالای آن همان‌طورکه در شکل ۲٤-۷ آمده است، مؤثر باشد.

نوسانات دمای خاک

دمای خاک در هر زمان وابسته به نسبت انرژی جذب شده به انرژی مصرف شده می‌باشد. تغییرات ثابت در این رابطه در دمای فصلی، ماهانه و روزانه منعکس شده است. اطلاعات موجود (شکل‌های ۲۵ـ۷و ۲٦ـ۷)در کالج استیشن در ایالت تگزاس و لینکلن در ایالت نبراسکا، معرف متوسط دمای فصلی و ماهانه در ارتباط با عمق خاک در مناطق معتدل نیمه‌مرطوب می‌باشد

تغییرات عمودی و فصلی دما

از شکل‌های ۲۵ـ۷ و ۲٦ـ۷ آشکار است که تغییرات قابل توجه فصلی و ماهانه در دمای خاک، حتی در اعماق پایین صورت می‌گیرد. دمای سطح خاک کم و بیش در ارتباط با دمای هوا تغییرمی کند. گرچه این لایه‌ها در تمام طول سال گرم‌تر از هوا می‌باشند.

در خاک تحت‌الارضی، افزایش وکاهش دمای فصلی عقب‌تر از تغییرات ثبت شده در سطح و هوا است، در این ارتباط، دمای ماه مارس در کالج استیشن مطرح می‌کند درحالی‌که دمای سطح خاک به گرم شدن در بهار از قبیل عکس‌العمل نشان داده است، دمای خاک تحت‌الارض عمیق هنوز به هوای سرد زمستانه عکس‌العمل نشان می‌دهد.

دمای تحت‌الارض از دمای هوا و خاک سطحی کمتر متغیر است، هرچند تغییرات دمایی چندی نیز در عمق۳ متری وجود دارد. این خاک‌های تحت‌الارض معمولاً نسبت به خاک‌های سطحی و هوا درآخر پاییز و زمستان گرم‌تر و در بهار و تابستان خنک‌تر می‌باشند. این مسأله قابل انتظار است، زیرا تحت‌الارض مستقیماً در معرض تابش آفتاب قرار ندارد.

[1]-Thermal conductivity

تابلو ۲ـ۷ محاسبه‌ی گرمای ویژه و یا ظرفیت گرمایی (گرما گنجی)یک خاک مرطوب

میزان آب خاک به‌طوری آشکار در تغییرات دما، از طریق اثر آن بر گرمای ویژه و یا بر ظرفیت گرمایی خاک مؤثر است. برای نمونه، دو خاک با خصوصیات مشابه، خاک الف)یک خاک نسبتاً خشک حاوی ۱۰درصد آب در ذرات جامد خاک وخاک (ب)یک خاک مرطوب‌تر با ۳۰ گرم آب در۱۰۰ گرم ذرات جامد خاک را مورد نظر قرار دهید، گرمای ویژه آب و خاک معدنی خشک را به ترتیب ۱ و۰/۲کالری در گرم فرض کنید.

در خاک (الف)با ۱۰ گرم آب در۱۰۰ گرم خاک خشک و یا ۰/۱گرم در ۱گرم خاک خشک، میزان کالری لازم برای افزایش دمای ۰/۱گرم آب به مقدار یک درجه‌ی سانتی‌گراد عبارتست از: کالری۰/۱=گرم/کالری۱×گرم۰/۱

همین‌طور کالری لازم برای ۱ گرم خاک خشک به مقدار یک درجه سانتی‌گراد عبارتست از : کالری۰/۲=گرم/کالری۰/۲×گرم۱

بنابراین جمعاً ۰/۳کالری (۰/۱+۰/۲)برای افزایش دمای ۱/۱گرم(۰/۱+۱) خاک مرطوب به مقدار یک درجه سانتی‌گراد لازم می‌باشد. از آن‌جایی‌که گرمای ویژه عبارتست از مقدارکالری برای افزایش دمای یک گرم خاک مرطوب به‌مقدار یک درجه سانتی‌گراد، گرمای ویژه‌ی خاک الف طبق رابطه زیر به‌دست می‌آید:

گرم/کالری ۰/۲۷۳= ۱/۱/۰/۳ = گرمای ویژه خاک (الف)

این محاسبات می‌تواند به‌وسیله‌ی یک معادله ساده برای محاسبه‌ی معدل وزنی گرمای ویژه‌ی مخلوطی از مواد بیان گردد:

$$c = \frac{c_1 m_1 + c_2 m_2}{m_1 + m_2}$$

که در آن c_1 وm_1 به ترتیب عبارتند از گرمای ویژه و جرم و حجم ماده ۱ (در مورد مثال بالا خاک معدنی خشک)و c_2 و m_2 عبارتند ازگرمای ویژه و جرم ماده ۲ (در مورد مثال بالا آب). با استعمال این رابط درمورد خاک (الف) مجدداً رقم ۰/۲۷۳ را برای گرمای ویژه به‌دست می‌آوریم.

(الف) C= (گرم ۰/۱× گرم/کالری ۱ + گرم ۱×گرم/کالری ۰/۲) / (۱ گرم + گرم ۰/۱) = ۰/۲۷۳ گرم/کالری

با همین روش گرمای ویژه خاک مرطوب‌تر (ب)را به‌شرح زیر تعیین می‌کنیم:

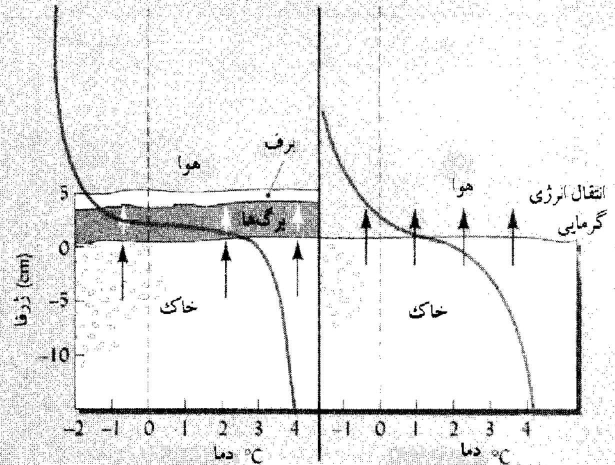
(ب) C= (گرم ۰/۳× گرم/کالری ۱ + گرم۱× گرم/کالری۰/۲) / (گرم۰/۳ + گرم ۱) = ۰/۳۵۸ گرم/کالری

خاک مرطوب (ب)دارای گرمای ویژه ۰/۳۸۵ کالری بر گرم است درحالی‌که خاک خشک‌تر (الف) دارای گرمای ویژه ۰/۲۷۳٪کالری در گرم است، از آن‌جاکه خاک ب باید ۰/۱۱۲ کالری بیشتر (۰/۲۷۳ـ۰/۳۸۵) از تابش خورشیدی برای افزایش یک درجه حرارت در هر گرم دریافت دارد. خاک مرطوب بسیار کندتر از خاک خشک گرم می‌شود.

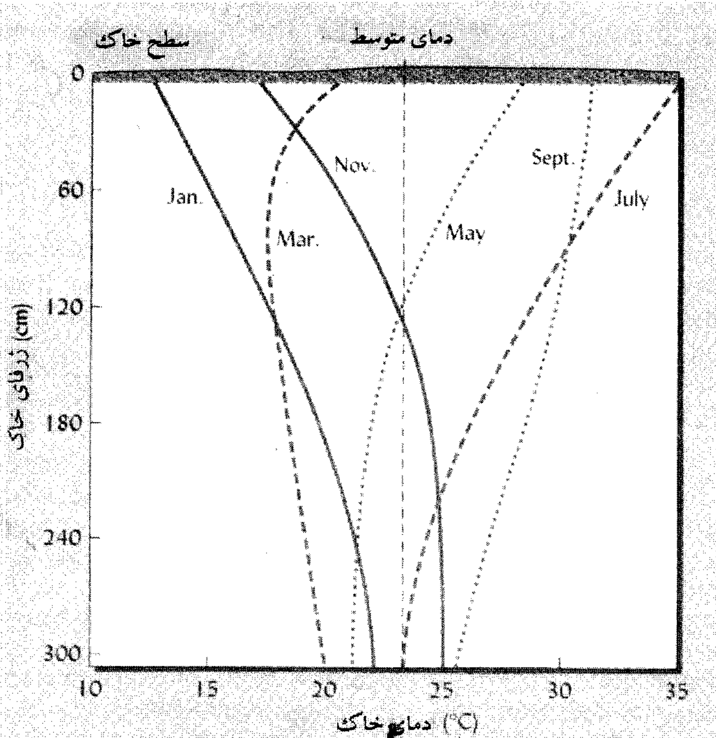
تغییرات روزانه

در یک آسمان صاف، دمای هوا در مناطق معتدل از کمترین مقدار در صبح تا بیشترین مقدار در ساعت ۲ بعدازظهر بالا می‌رود. گرچه دمای خاک سطحی به‌دلیل تأخیر در گرم‌شدن، تا عصر به حداکثر مقدار خود می‌رسد. این تأخیر با افزایش عمق بیشتر بوده و تغییرات دما کمتر می‌باشد. طبقات پایین تحت‌الارض نوسانات روزانه و هفتگی کمتری را نشان می‌دهند؛ در تحت‌الارض تغییرات دما به‌طور ماهانه و فصلی، همان‌طورکه قبلاً نیز تأکید گردید، آرام است.

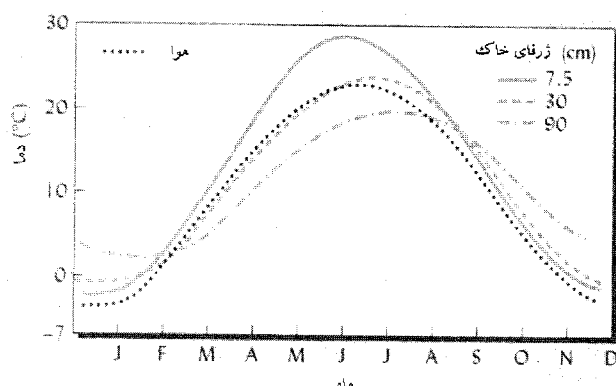




شکل۲۴-۷ انتقال انرژی گرمایی ازخاک به هوا. این عکس که از بالا در یک مزرعه به‌دنبال بارش برف زودهنگام گرفته شده است، نشان‌دهنده برف برروی خاک‌پوش برگی بستر گل‌ها می‌باشد. درحالی‌که در مناطقی که خاک فاقد پوشش است و یا دارای چمن نازک است، برف دیده نمی‌شود. دلیل این تراکم غیریکنواخت برف را می‌توان در نیمرخ دمای خاک مشاهده کرد. لایه‌هایی که گرمای آفتاب را ذخیره کرده‌اند با کاهش دما در پاییز (این مسأله درطول شب برای سایر فصول نیز صادق است) اغلب گرم‌تر از هوا می‌باشند در خاک فاقد پوشش، انرژی گرمایی از لایه‌های پایین به‌سرعت به‌سطح انتقال می‌یابد. میزان انتقال با افزایش رطوبت و تراکم خاک که سبب افزایش هدایت گرمایی(گرمارسانی) خاک می‌باشد ارتقاء می‌یابد. درنتیجه سطح خاک و هوای بالای آن بالاتر از نقطه انجماد گرم می‌شوند؛ بنابراین، برف آب شده تراکم نمی‌یابد. خاک‌پوش برگی که دارای هدایت گرمایی پایین است همانند یک پرده‌ی عایق عمل کرده و انتقال انرژی حرارتی ذخیره شده در خاک را به هوا کند می‌کند، سطح فوقانی خاک‌پوش بنابراین به‌سختی به‌وسیله‌ی خاک گرم شده و برف یخ‌زده و متراکم باقی می‌ماند. یک پوشش ضخیم برفی خود می‌تواند همانند یک پرده عایق عمل کند.



شکل ۲۵-۷ متوسط دمای ماهانه‌ی خاک در۶ ماه از ۱۲ماه در اعماق مختلف در کالج استیشن تگزاس (۱۹۵۵-۱۹۵۱) به تأخیر در تغییر در دمای خاک در اعماق پایین توجه کنید.



شکل۲۶-۷ متوسط دمای ماهانه هوا و خـاک در لینکلن نبراسکا (۱۲سال). توجه داشته باشید که دمای لایه‌ی خاک در عمـق ۷/۵ سـانتی‌متـر از هوای بالای آن به‌طور مداوم در طول سال بالاتر بوده، و افق ۹۰ سانتی‌متری در بهـار و تابسـتان خنک‌تر اما در پاییز و زمستان گرم‌تـر از خـاک سطحی می‌باشد.

۱۲-۷ مدیریت دمای خاک

دمای خاک در مزارع تحت تأثیر تصمیمات شدید انسانی نمی‌باشد. هرچند دو نوع عملیات مدیریتی اثرات معنی‌داری را بر دمای خاک دارند: عملیاتی که از انواع پوشش و یا خاک‌پوش در روی خاک نگهداری می‌کند، و عملیاتی کـه سـبب کـاهش رطوبـت اضـافی خـاک می‌شوند، این اثرات دارای کاربردهای زیستی معنی‌داری می‌باشند.

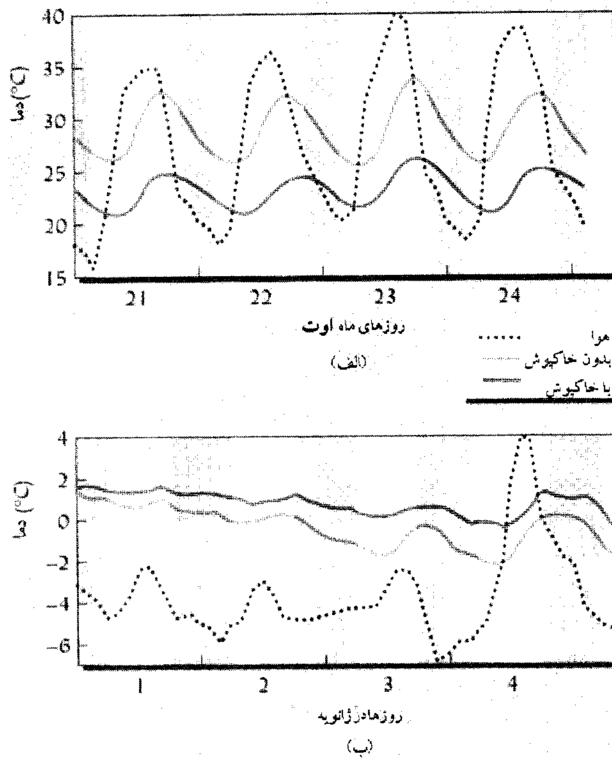
خاک‌پوش‌های آلی و مدیریت پس‌مانده‌های گیاهی

دمای خاک تحت تأثیر پوشش خاک، و به‌خصوص بقایای آلی و دیگر خاک‌پوش‌های موجود بر روی سطح خاک، می‌باشد. شکل ۲۷-۷ نشان می‌دهد که خاک‌پوش‌ها به‌طور مؤثری در مقابل تغییرات شدید دما مقاومت می‌کنند. در طول ایام گرم آن‌ها سطح خـاک را سـردتر، و بالعکس، در طول روزهای سرد، آن‌ها خاک را گرم‌تر از خاک مشابه نگهداری می‌کنند.

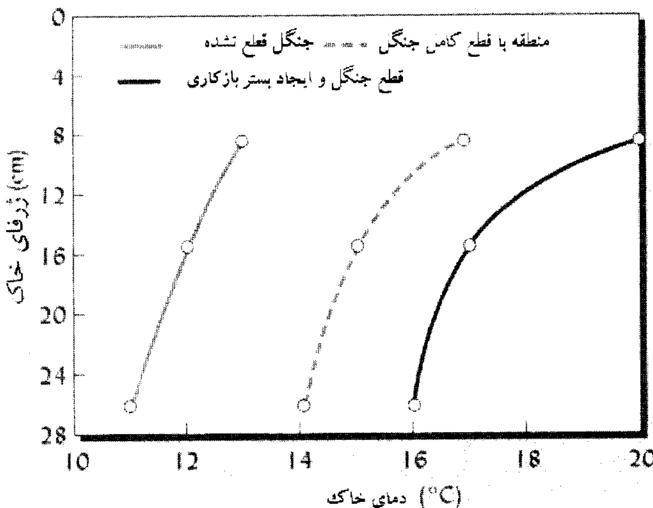
لاشبرگ جنگلی نمونه‌ای برجسته از یک خاک‌پوش طبیعی تغییردهنده‌ی دما است. بنابراین، تعجب‌آور نخواهد بود که عملیات برداشـت الوار در رژیم دمایی خاک جنگلی تأثیر داشته باشد (شکل ۲۸-۷). به‌هم‌زدن خاک‌پوش برگی، تغییر در میزان آب به‌خاطر کـاهش تبخیـر و تعرق، و تراکم خاک به‌وسیله‌ی ماشین‌آلات تماماً عواملی هستند که از طریق هدایت گرمایی (گرما رسانی) در دمای خاک مؤثر مـی‌باشـند: کاهش سایه‌اندازی بعد از برداشت درختان سبب تابش خورشیدی بیشتری خواهدشد.

خاک‌پوش حاصل از خاکوزری حفاظتی: تا نزدیکی همین اواخر، به‌خاطر هزینه‌های کارگری، حمل و پخش مواد خاک‌پوش استفاده از آن‌ها را عمدتاً محدود به مهار دمای شدید خاک در باغچه‌های خانگی و بستر گل‌ها می‌کرد، هرچند این استفاده هنوز مهم است. اسـتفاده از خاک‌پوش‌ها در مناطقی که خاک‌ورزی حفاظتی تطابق یافته است، به محصولات مزرعه‌ای نیز تعمیم داده شده است. خاک‌ورزی حفاظتی اکثر و یا تمام پس‌مانده‌های گیاهی را در سطح و یا نزدیکی سطح باقی می‌گذارد، بنابراین به‌جای حمل خاک‌پوش به مزرعه، خاک‌پـوش در آن‌جا تولید می‌شود. تأثیر بقایای سطحی بر روی دمای خاک به‌وسیله‌ی داده‌هایی درشکل۲۹-۷ نشان داده شده است. دمای خاک تا عمق۷۰ سانتی‌متری در نظام بدون خاک‌ورزی که تمام پس‌مانده‌های گیاهی رابه‌صورت خاک‌پوش درسطح باقی می‌گذاشت درطول ماه مه و ژوییـه به‌طور مداوم از نظام خاک‌ورزی سنتی پایین‌تر بود.

نکات مورد توجه در اقالیم سرد: درحالی‌که خاک‌پوش بیشترین تأثیر را بروی مهار فرسایش ایفا مـی‌کنـد (۶-۱۷را مشـاهده کنیـد). اثرات کاهش دما دربعضی از عملیات خاک‌پوش نتایج منفی شدیدی بر تولید محصولاتی مانند ذرت در اقالیم سرد مانند کانادا و آمریکـای شمالی خواهد داشت. دمای پایین درماه مه و اویل ژوئن درنتیجه انجام این عملیات از جوانه‌زدن بذر، استقرار بوته‌ها و اغلب عملکرد بالای ذرت ممانعت خواهد کرد. اثر خاک‌پوش پس‌مانده‌های گیاهی در پایین‌آوردن دمای حداکثر وسط روز بسـیار برجسـته بـوده و اثـر بسـیار کمتری بر حداقل دمای شبانه خواهد داشت. این اثر با اطلاعات شکل ۳۰-۷ به‌خوبی تشریح شده است، این شکل یـک روش نـوین بـرای تخفیف این مشکل با کنارزدن بقایا در یک نوار باریک بروی ردیف بذر در نظام بدون عملیات خاک‌ورزی نیز ارائه مـی‌دهـد. روش دیگـر برای حل این مسأله ایجاد پشته در خاک و مُیَسَرساختن زه‌کشی آن و کشت بذر در بخش خشک‌تر و گرم‌تر بالای پشته (و یا بخـش روبـه جنوب پشته) می‌باشد.

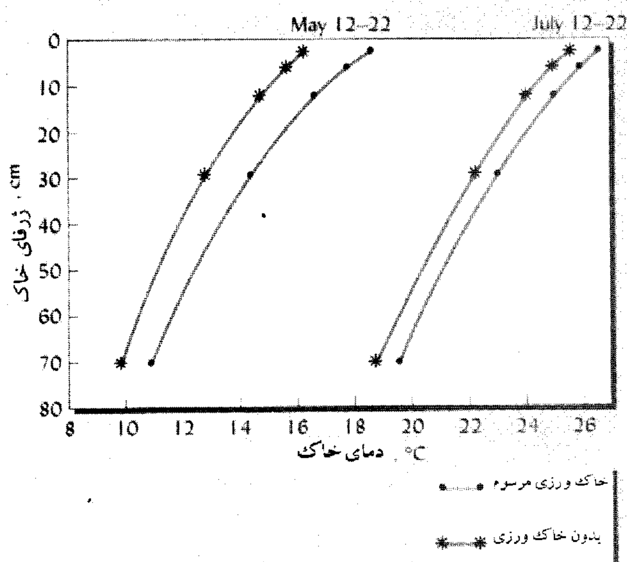


شکل۲۷-۷ (الف) تأثیر خاک‌پوش کاه و کلش (۸ تن در هکتار) بر دمای هوای خاک در عمق ۱۰ سانتی‌متری در یک دوره گرم ماه اوت در بوش‌لند تگزاس، توجه داشته باشید که دمای خاک در مناطق خاک‌پوش‌دار به‌طور پایدار از مناطق فاقد خاک‌پوش پایین‌تر است (ب) در طول دوره سرد در ژانویه دما در مناطق دارای خاک‌پوش از منطقه فاقد خاک‌پوش بیشتر بود. ستون‌های سایه‌دار بیانگر شب‌هاست.

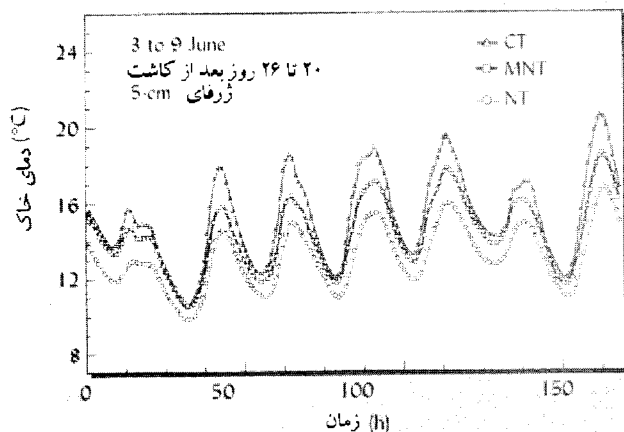


شکل۲۸-۷ تأثیر برداشت الوار و آماده‌کردن محل کشت بر نیمرخ دمایی خاک در ماه ژوئن در یک اراضی باتلاقی جنگلی در ایالت میشیگان. برداشت الوار به‌طریق کف برکردن سبب به‌هم‌زدن زیاد خاک و بالا رفتن دما به‌مقدار ٤ تا ۵ درجه سانتی‌گراد گردید. عملیات خاک‌ورزی برای ایجاد بستر برای بازکاری درختان سبب از بین رفتن لاشبرگ خاک‌پوش باقی‌مانده و خشک‌شدن خاک و بنابراین سبب بالارفتن ۲ تا ۳ درجه سانتی‌گراد دیگر در خاک گردید. دمای بالا سبب افزایش میزان تجزیه‌ی ماده‌ی آلی گردید.

مزایا در اقالیم گرم: در مناطق گرم، تأخیر در کشت مسأله‌ای نیست. در واقع، ممکن است دمای خنک‌تر در نزدیکی سطح خاک در زیر یک خاک‌پوش تنش دمایی را بر ریشه‌ها در تابستان کاهش دهد. خاک‌پوش و پس‌مانده‌های گیاهی همچنین سبب ذخیره رطوبت خاک با کاهش تبخیر می‌شوند. لایه‌ی سطحی مرطوب خنک‌تر ایجاد شده بخش مهمی از نظام بدون عملیات خاک‌ورزی بوده است. زیرا امکان توسعه ریشه‌ها را در این منطقه که شرایط تغذیه‌ای و تهویه درحد بهینه می‌باشد فراهم می‌کند.



شکل۲۹-۷ تأثیر نظام خاک‌ورزی بر نیمرخ دمایی خاک در یک مزرعه‌ی گندم در ایالت داکوتای شمالی، در مقایسه با خاک فاقد خاک‌پوش که به‌طریق سنتی شخم زده شده بود، خاک دارای خاک‌پوش بقایای سطحی که به‌وسیله‌ی نظام بدون عملیات خاک‌ورزی ایجاد شده بود، در بهار و تابستان تا عمق حداقل ۷۰ سانتی‌متر خنک‌تر بود. تفاوت در اوایل ماه مه در نزدیکی سطح خاک بیشتر از ۳ درجه‌ی سانتی‌گراد بود.



شکل ۳۰-۷ اثرات خاک‌ورزی بر تغییرات ساعتی دما در نزدیک سطح یک خاک آلفی‌سول سرد در بریتش کلمبیای شمالی. خاک برای کشت جو با نظام بدون عملیات خاک‌ورزی (NT)، و نظام سنتی خاک‌ورزی (سطح فاقد پس‌مانده‌های گیاهی)، (CT) در طول ۱۴ سال گذشته مدیریت شده بود. در خاک با نظام (CT) دمای وسط روز خاک در عمق ۵ سانتی‌متری ٤ درجه از نظام بدون خاک‌ورزی (NT) بالاتر بود. یک تغییر در نظام بدون خاک‌ورزی (MNT) سبب کنارزدن بقایا در یک نوار باریک (عرض ۷/۵ سانتی‌متر) برروی ردیف کشت سبب حذف اثرات کاهش دمایی گردید (درحالی که اکثر سطح خاک به‌وسیله‌ی خاک‌پوش حفاظت‌کننده‌ی آب و خاک پوشش یافته بود). به تغییرات دمایی روزانه و شیوه عمومی گرم شدن در این ٦ روز توجه کنید.

خاک‌پوش‌های پلاستیکی

یکی از دلایل مقبولیت خاک‌پوش‌های پلاستیکی برای باغ‌ها و گیاهان خاص پرارزش، اثر آن‌ها بر دمای خاک می‌باشد. برخلاف خاک‌پوش‌های آلی، خاک‌پوش‌های پلاستیکی معمولاً سبب بالارفتن دمای خاک می‌شوند. پلاستیک شفاف دارای اثرات گرمایی بیشتری از پلاستیک سیاه می‌باشد. در مناطق معتدل این اثر می‌تواند برای طولانی‌کردن فصل رشد، و یا تسریع در تولید برای بهره‌گیری از قیمت‌های بالای محصولات پیشرس. مورد استفاده قرار گیرد شکل ۳۱-۷ استفاده از خاک‌پوش پلاستیکی را برای توت‌فرنگی زمستانه در کالیفرنیای جنوبی نشان می‌دهد.

در اقالیم گرم‌تر در طول ماه‌های تابستان، اثرات گرمایی خاک‌پوش‌های پلاستیکی ممکن است بسیار مهلک بوده، از رشد ریشه‌ها در لایه‌های فوقانی خاک ممانعت نموده و در بعضی مواقع سبب کاهش شدید عملکرد شود (برای نمونه جدول ۷-۷ را مشاهده کنید). اثرات خاک‌پوش‌های پلاستیکی در مهار علف‌های هرز و حفاظت رطوبت، در بعضی شرایط آشکارا به‌واسطه‌ی اثرات گرمایی شدید از ارزش می‌افتد.



شکل ۳۱-۷ محصول این توت‌فرنگی زمستانه در کالیفرنیای جنوبی به‌دلیل اثرات پلاستیک شفاف بر دمای خاک، وقتی به بازارخواهد آمد که قیمت‌ها هنوز بالا می‌باشند.

مدیریت رطوبت

راه دوم اعمال مدیریت بر روی دمای خاک از طریق کنترل رطوبت خاک است.خاک‌های دارای زه‌کشی ضعیف در مناطق معتدل که در بهار خیس می‌باشند، حدود ۳ تا ٦ درجه سانتی‌گراد سردتر از خاک‌های مشابه دارای زه‌کشی خوب هستنند، فقط با خارج‌کردن این آب می‌توان کاهش دما را تخفیف داد. خارج‌کردن آب با نصب شبکه‌ی زه‌کشی و استفاده از نهرها و یا تنبوشه‌های زیرزمینی امکان‌پذیراست (بخش۹-٦ را مشاهده کنید). وقتی این روش‌ها سهولت اجرا نداشته باشند نظام نوین جوی و پشته که اخیراً به آن اشاره رفت باید مورد استفاده قرار گیرد.

همان‌طورکه در مورد هوای خاک گفته شد، اثر مدیریت آب خاک در دمای خاک در هر جا آشکار است، مسأله چه در ارتباط با گرفتن انرژی باشد، چه در هدررفت انرژی به نیوار و یا حرکت گرما به‌داخل خاک، مقدار آب موجود همیشه مهم است. به نظر می‌رسد تنظیم آب کلیدی برای مدیریت عملی دمای خاک در مزارع باشد.

جدول ۷-۷ دمای خاک و عملکرد گوجه‌فرنگی با خاک‌پوش کلش و خاک‌پوش پلاستیکی :

داده‌ها میانگین دو سال عملکرد گوجه‌فرنگی در یک خاک لوم شنی (اولتی‌سول) نزدیک گریفین ایالت جورجیا می‌باشد. کلش از بالارفتن دمای بالای مهلک در سطح خاک جلوگیری کرد، درحالی‌که سبب افزایش نفوذ باران و کاهش تراکم خاک گردید. آبیاری قطره‌ای در طول روز سبب عرضه آب زیاد گردید، اما نتوانست بر اثرات دمای خاک‌پوش پلاستیک سیاه فایق آید.

	آبیاری نشده		روزانه آبیاری شده	
	خاک‌پوش کلش	خاک‌پوش پلاستیک	خاک‌پوش کلش	خاک‌پوش پلاستیک
معدل دمای خاک، C*	۲٤	۳۷	۲٤	۳۵
میزان عملکرد گوجه، تن در هکتار	٦۸	۳۰	۷۰	۲٤

*دمای خاک در۵ سانتی‌متر زیر سطح آن اندازه‌گیری شد و معدل هفته‌های ۲ تا ۱۰ فصل رشد بود.

۷-۱۳ نتیجه‌گیری نهایی

تهویه و دمای خاک در کیفیت خاک به‌عنوان زیستگاه گیاهان و دیگر موجودات شدیداً مؤثر می‌باشند. اکثر گیاهان در ضمن داشتن نیازهای مشخصی به اکسیژن خاک، دارای مقاومت اندکی به گازکربنیک، متان و دیگر گازهای مشابه موجود در خاک‌های دارای تهویه ضعیف می‌باشند. بعضی از میکروب‌ها، مانند تولیدکنندگان نیترات و تجزیه‌کنندگان عمومی براثر کمبود اکسیژن دچار توقف رشد می‌شوند.

خاک‌هایی با رژیم‌های رطوبتی شدیداً مرطوب با توجه به شکل ظاهری، خصوصیات شیمیایی و جامعه‌ی گیاهی موجود در آن‌ها منحصربه‌فرد می‌باشند. این خاک‌های آب‌دار از خصوصیات اراضی باتلاقی بوده، و سبب می‌شود این بوم‌سامان‌ها هزاران وظایف مفید را به انجام رسانند.

گیاهان، و همین طور میکروب‌ها، به اختلافات دمای خاک، به‌خصوص در اقالیم معتدل که دمای پایین می‌تواند فرایندهای اساسی زیستی را محدود کند، کاملاً حساس می‌باشند. دمای خاک در استفاده‌ی خاک‌ها برای مقاصد مهندسی نیز مؤثر می‌باشد، به‌خصوص در اقالیم سرد یخ‌زدن که می‌تواند گیاهان چندساله مانند یونجه را از خاک خارج سازد، عمل مشابهی را با پی ساختمان‌ها، پایه‌های حصارکشی، پیاده روها و بزرگ‌راه‌ها انجام می‌دهد.

آب خاک می‌تواند تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر هوای خاک و دمای آن داشته باشد. رطوبت خاک با هوای خاک برای اشغال منافذ خاک در رقابت بوده، و در انتشار گازها به‌داخل خاک و از داخل خاک مزاحمت ایجاد می‌کند. رطوبت خاک، همچنین در برابر تغییرات دما به‌وسیله‌ی گرمای ویژه خود و نیاز به انرژی زیاد برای فرایند تبخیر، مقاومت می‌کند.

سووالات برای مطالعه

۱- دو گاز عمده که در تهویه دخیلند کدامند و مقدار نسبی آنان چگونه با افزایش عمق تغییر می‌کند؟

۲- بافت آرانشیم چیست و چگونه در رابطه با آب و خاک مؤثر است؟

۳- اگر پتانسیل اکسید-احیایی برای یک خاک در pH=۶ نزدیک صفر باشد، دو واکنش را که انتظار دارید رخ دهد بنویسید. حضور مقدار زیادی ترکیبات نیتراتی چگونه در وقوع این واکنش‌ها اثر دارد؟

۴- اگر یک خاک آب‌رفتی جنگلی برای مدت ۱۰ روز غرقاب گردد و گازهای حاصل از خاک مرطوب مورد نمونه‌برداری قرار گیرد انتظار دارید به‌غیراز اکسیژن و گاز کربنیک چه گازهایی پیدا شود؟ به ترتیب بیان کنید.

۵- بعضی مواقع گفته می‌شود که جانداران در محیط‌های غیرهوازی، از اکسیژن موجود در نیترات و یا سولفات به جای O_2 استفاده می‌کنند چرا این گفته غلط است؟ وقتی جانداران سولفات و یا نیترات را احیاء می‌کنند در واقع چه اتفاقی صورت می‌گیرد؟

۶- توضیح دهید چرا هوای گرم در طول دوره اشباع برای ایجاد یک خاک Hydric لازم است ؟

۷- اگر شما در مزرعه مشغول تعیین محدوده‌ی بخش خشک اراضی باتلاقی باشید سه خصوصیت لازم خاک برای این کار کدامند؟ و سه خصوصیت دیگر که ممکن‌است شما به آن‌ها نظر داشته باشید کدامند؟

۸- برای هرکدام از این گازها جمله‌ای بنویسید که رابطه‌ی آن‌ها را با شرایط مرطوب بیان دارد. اتیلن، متان، اکسید نیترو و سولفید هیدروژن.

۹- سه جزء اصلی که اراضی باتلاقی را تبیین می‌کنند کدامند؟

۱۰- چهار فرایند خاک را که تحت تأثیر دمای آن می‌باشند، بیان کنید.

۱۱- توضیح دهید که چگونه ممکن است یک آتش‌سوزی سرکش لغزش گل را که اغلب در ایالت کالیفرنیا رخ می‌دهد به‌دنبال داشته باشد.

۱۲- اگر قرار بود شما خانه‌ای در زیر زمین برای حفظ گرما و سرما بسازید، آیا خاک اطراف منزل را به‌شدت متراکم می‌کردید؟ در مورد پاسخ خود توضیح دهید.

۱۳- اگر حداکثر دمای روزانه هوا را در ساعت یک بعدازظهر ۲۸ درجه سانتی‌گراد اندازه بگیرید، انتظار دارید حداکثر دما در عمق ۱۵ سانتی‌متری خاک چه مقدار باشد؟ حدوداً در چه ساعتی از روز حداکثر دما در این عمق رخ می‌دهد؟

۱۴- در رابطه با دمای خاک توضیح دهید که چرا عملیات شخم حفاظتی در ایالت میسوری بسیار رایج‌تر از ایالت مینوسوتا می‌باشد؟

چشم‌انداز رس همانند لایه‌های غامض رحم
است که نقش آن دریافت، نگهداری و زایمان
است.

«ویلیام برایانت لوگان»

فصل ۸

کلوییدهای خاک: سرشت و اهمیت عملی آن‌ها

به‌غیر از فتوسنتز و تنفس،، احتمالاً فرایند دیگری در طبیعت وجود ندارد که برای حیات گیاهی و جانوری به اندازه‌ی تبادل یون‌ها بین ذرات خاک و ریشه گیاهان اساسی باشد. این تبادل کاتیونی و آنیونی عمدتاً در سطوح بخش‌های ریز و یا کلوییدی مواد آلی و معدنی رس و هموس صورت می‌گیرد.

این ذرات کلوییدی بسیار شبیه یک بانک نوین کار می‌کند. آن‌ها محل‌هایی هستند که ین‌های عناصر معدنی اساسی، مانند کلسیم، پتاسیم و سولفور در آن نگهداری شده و از هدررفت اضافی براثر فرونشست آب باران و یا آب آبیاری محفوظ می‌مانند. بعدها این ین‌های اساسی می‌توانند از این محل‌های بانک کلوییدی بیرون کشیده شده و به‌وسیله‌ی ریشه نباتات جذب شوند. به‌نوبه‌ی خود، این عناصر می‌توانند ته‌نشین شده و یا از طریق افزودن کودهای شیمیایی، آهک، کود دامی و پس‌مانده‌های گیاهی به کلویید باز گردند.

سازوکارهای تبادل کاتیونی و آنیونی در اداره‌ی حرکت بعضی از مواد آلی شیمیایی از داخل خاک به رودخانه‌های نزدیک و یا آب چاه مهم می‌باشند. هر ماده‌ی شیمیایی که به‌وسیله‌ی بارهای مثبت و یا منفی جذب گردد، تا حدی بر روی کلوییدها نگهداری شده و بعداً با آهستگی به محیط اطراف پراکنده می‌شود.

اما قابلیت تبادل کاتیونی و آنیونی تن‌ها خصوصیت خاکی وابسته به کلوییدهای خاک نمی‌باشد. تشکیل ساختمان خاک و پایداری آن، نگهداری و حرکت آب و نقش آن‌ها در مهار هوای خاک و دمای آن همگی تا حد قابل‌ملاحظه‌ای تحت تأثیر کلوییدهای خاک می‌باشند.

سهولت فرسایش خاک در ارتباط با سرشت کلوییدهای خاک است، که می‌تواند به طرف پایین‌دست رودخانه برای ته‌نشینی در مخازن، تأمین آب خانگی مورد نیاز ما و یا پرکردن بنادر آبی که باید مکرراً لایروبی شود حرکت کند. استفاده از خاک‌ها برای مجموعه‌های ساختمانی و ساخت بزرگ‌راه‌ها تا حد قابل‌ملاحظه‌ای وابسته به مقدار و سرشت کلوییدهای خاک می‌باشد.

ذرات کلوییدی (رس و هموس) جایگاه اکثر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک می‌باشند. بنابراین، فهم و شناخت خاک حداقل بدون داشتن حداقل دانش عمومی از سرشت و ساختمان این ذرات ریز کامل نخواهد شد. در این فصل خصوصیات کلی آن‌ها اول مورد بررسی و سپس خصوصیات تک‌تک آن‌ها مورد توجه قرار خواهد گرفت.

۸-۱ خصوصیات کلی کلوییدهای خاک

اندازه

مهم‌ترین خصوصیت کلی کلوییدها اندازه فوق‌العاده کوچک آن‌هاست. آن‌ها بسیار کوچک‌تر از آنند که بتوانند به‌وسیله‌ی میکروسکوپ‌های نوری معمولی مشاهده شوند. فقط با یک میکروسکوپ الکترونی می‌توان از آن‌ها عکس‌برداری کرد. بیشتر این کلوییدها دارای قطری کمتر از ۲ میکرون می‌باشند.

سطح

به‌دلیل اندازه‌ی کوچک آن‌ها، کلوییدهای خاک دارای سطح خارجی بزرگی در واحد وزن می‌باشند. سطح خارجی یک گرم از رس کلوییدی ۱۰۰۰ برابر سطح یک گرم شن درشت می‌باشد، بعضی کلوییدها، به‌خصوص رس‌های سیلیکاتی، دارای سطح داخلی بسیار وسیعی نیز می‌باشند. این سطح داخلی بین واحدهای بلوری صفحه‌مانند که هر ذره ایجاد می‌کند، قرار گرفته و معمولاً از سطح خارجی به‌مراتب بزرگ‌تر است. سطح کل کلوییدهای خاک از ۱۰ مترمربع در گرم برای رس‌های فقط دارای سطح خارجی تا بیشتر از ۸۰۰ مترمربع در گرم در رس‌ها با سطح داخلی بسیار گسترده متفاوت است. اندازه‌ی سطح کلوییدی در یک هکتار خاک رسی با عمق ۱۵ سانتیمتر می‌تواند به ۷۰۰۰۰۰ کیلومترمربع برسد (مساحتی که از سطح کشور فرانسه بیشتر است).

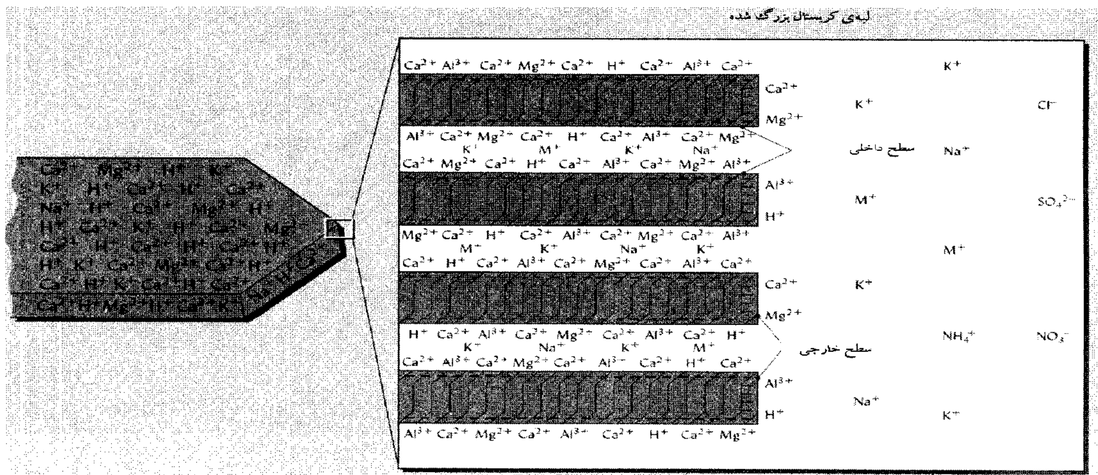
بعضی از ذرات رس و مواد آلی مقداری از حد بالایی حالت کلوییدی (۱ میکرون) بزرگ‌تر هستند. گرچه آن‌ها دارای بعضی خصوصیات کلوییدی مانند بارهای مثبت و منفی سطحی، جذب شیمیایی یُن‌ها در سطح، و توانایی پراکنده‌شدن می‌باشند. بدین‌ترتیب به بخش‌های زیر خاک (رس‌ها و هموس) کلوییدهای خاک اطلاق می‌شود. با این تفاوت که بعضی از ذرات چنان کوچک نیستند که از نظر فنی کلوییدها طبقه‌بندی می‌شوند. برای مروری بر ترکیب و خصوصیات رس‌ها و هموس، کتاب دیکسون و وید (۱۹۸۹) را مشاهده کنید.

بار سطحی

سطوح کلوییدی چه خارجی و چه داخلی، اختصاصاً دارای بار منفی و یا بار مثبت می‌باشند. در اکثر کلوییدهای خاک بار الکتریکی منفی فراوان‌تر است، هرچند بعضی از کلوییدهای معدنی در خاک‌های خیلی اسیدی دارای بار خالص الکتریکی مثبت می‌باشند. حضور و میزان بار ذرات در جذب و دفع ذرات به‌طرف یکدیگر مؤثر می‌باشد. بنابراین، هردو درخصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مؤثرند. منابع این بار بعداً مورد ملاحظه قرار خواهد گرفت.

جذب کاتیون‌ها و آب

پیامد مهم وجود بار برروی کلوییدهای خاک، جذب یُن‌های دارای بار مخالف به سطح کلوییدی است این جذب برای کلوییدهای دارای بار منفی بسیار مهّم است. ذرات کلوییدی که به آن‌ها میسل (سلول‌های میکروبی[1]) اطلاق می‌شود، صدها و هزارها یُن‌های دارای بار مثبت و یا کاتیون‌ها مانند H^+, Al^{3+}, Ca^{2+} و Mg^{2+} را جذب می‌کنند، و این سبب ایجاد لایه‌ی دوگانه یونی[2] (شکل ۱-۸) می‌شود. ذرات کلوییدی لایه داخلی یونی را تشکیل داده که خود یک آنیون عظیم بوده و سطوح داخلی و خارجی آن از نظر بار منفی می‌باشند. لایه خارجی از گروهی از کاتیون‌های سست نگهداری شده (جذب شده) که جذب سطح دارای بار منفی گردیده، تشکیل شده است. بنابراین، یک ذره کلوییدی با مجموعه‌ای از کاتیون‌ها که در سطح ذره جذب و یا نگهداری شده‌اند همراه می‌باشد.



شکل ۱-۸ معرفی تصویری یک بلور رس سیلیکاتی (میسل) با ساختمان شبه‌صفحه‌ای خود. بارهای بی‌شمار منفی آن، و گروه کاتیون‌های جذب‌شده همراه. شکل بزرگ‌شده‌ی لبه کانی، سطوح داخلی منفی ذره و همچنین سطح خارجی را تشریح می‌کند که در آن آب و کاتیون‌ها جذب شده‌اند. توجه داشته باشید که هر واحد بلوری یک ساختمان منظم لایه‌ای یونی داخلی با بار منفی را ایجاد می‌کند که یک گروه از کاتیون‌های دارای بار مثبت را جذب می‌کند که هر دو با هم ساختمان یونی دو گانه را تشکیل می‌دهند بعضی از رس‌ها که دارای بار مثبت هستند می‌توانند یُن‌های منفی مانند NO_3^- و SO_4^{2-} را جذب کنند.

علاوه بر کاتیون‌های جذب‌شده، تعداد زیادی از مولکول‌های آب با ذرات کلوییدی خاک همراه می‌باشند، بعضی جذب کاتیون‌های آب‌دار[3] نگهداری شده کلویید بوده و بقیه، در سطوح داخلی ذرات کلوییدی نگهداری می‌شوند. این مولکول‌های آب نقشی حیاتی را در تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک ایفا می‌کنند.

آنیون‌ها مانند NO_3^-، Cl^- و SO_4^{2-} ممکن است بر روی بعضی از کلوییدهای خاک جذب گردند، جذب در اثر بارهای مثبت سطح کلویید است. هرچند آنیون‌ها به‌اندازه‌ی کاتیون‌ها گسترده نیستند، اما یک سازوکار مهم برای نگهداری اجزای دارای بار منفی می‌باشند.

---

[1] - Micelles (Microcells)
[2] - Ionic double layer
[3] - Hydrated cations

۸-۲ انواع کلوییدهای خاک

٤ نوع کلویید عمده در خاک وجود دارند که عبارتند از: ۱) رس‌های سیلیکاتی لایه‌ای ۲) رس‌های اکسید آهن و آلومینیوم ۳) آلوفان و رس‌های بی‌شکل همراه آن ٤) هموس. گرچه هر گروه دارای خصوصیات کلی کلوییدی تشریح شده‌ی قبل می‌باشند، هریک دارای ویژگی‌های خاص خود بوده که آن‌ها را از یکدیگر متمایز می‌سازد.

رس‌های سیلیکاتی لایه ای

کانی‌های رسی سیلیکاتی کلوییدهای معدی غالب در اکثر خاک‌ها به‌خصوص درمناطق معتدل، می‌باشند. مهم‌ترین خصوصیت این رس‌ها ساختمان بلوری و بار منفی آن‌هاست. هر ذره از یک گروه لایه‌ها که بسیار شبیه به صفحات کتاب هستند تشکیل شده است (شکل۲-۸). لایه‌ها عمدتاً از صفحات متراکم اتم‌های اکسیژن با اتم‌های سیلیسیم. آلومینیوم، منیزیم هیدروژن و/ یا آهن که در بین اتم‌های اکسیژن قرار گرفته‌اند، به همدیگر متصل شده‌اند. فرمول یکی از این رس‌ها، کائولینیت، $Si_2Al_2O_5(OH)_4$ می‌باشد که ترکیب کلی آن‌ها را مشخص می‌سازد.

ترکیب شیمیایی دقیق و نظم و ترتیب اتم‌ها در یک کلویید بلوری بیانگر بار سطحی و توانایی آن در نگهداری و تبادل یون‌ها، و هم چنین خصوصیات فیزیکی آن از جمله چسبندگی و شکل‌پذیری می‌باشد که در بخش ٤-۸ در جزییات موردبررسی قرار خواهد گرفت.

آلوفان و ایموگلیت[1]:

در بسیاری از خاک‌ها مقادیر قابل توجه از مواد کلوییدی وجود دارد که بدون شکل بوده و یا ساختمان بلوری آن‌ها چنان منظم نیست که بتواند به‌وسیله‌ی اشعه‌ی X تشخیص داده شود. به‌خاطر نبود ساختمان بلوری سه بعدی منظم گاهی به آن‌ها نیز کانی‌های دارای نظم محدود[2] اطلاق می‌شود. مطالعه آن‌ها از کانی‌های بلورین مشکل‌تر بوده، و درنتیجه اطلاعات اندکی در مورد آن‌ها موجود است.

مهم‌ترین کلوییدهای سیلیکاتی بی‌شکل، آلوفان وکلویید خیلی هوا دیده همراه آن ایموگلیت است. این کانی‌های سیلیکاتی آلومینیومی به‌مقدار کمی قابل‌تشخیص بوده و ترکیب کلی تقریبی آن‌ها $Al_2O_3.2SiO_2,H_2O$ میباشد. آن‌ها در خاک‌های تکامل‌یافته از خاکسترهای آتشفشانی (اندی‌سول‌ها) به‌وفور وجود دارند. مانند انواعی که در شمال غربی آمریکا یافت می‌شوند. ظرفیت آن‌ها برای جذب آنیون‌ها با توجه به‌مقدار pH متفاوت می‌باشد کاتیون‌ها عمدتاً در pH بالا و آنیون‌ها در pH پایین جذب می‌شوند. آلوفان و ایموگلیت، به‌خاطر ظرفیت بالای جذب فسفات در خاک‌های اسیدی مشهور می‌باشند.

اکسیدهای آهن و آلومینیوم

این رس‌ها در خاک‌های خیلی هوادیده التی‌سول و اکسی‌سول مناطق گرمسیر و نیمه‌گرمسیر معمولاً غالب بوده و به‌مقدار فراوان در خاک‌های الفی‌سول و انسپتی‌سول بعضی از مناطق معتدل نیز وجود دارند. خصوصیات خاک‌های زرد و قرمز (التی‌سولها) که در جنوب شرق آمریکا خیلی معمول هستند تا حد خیلی زیادی تحت سلطه‌ی این رس‌ها می‌باشد.

نمونه‌های از اکسیدهای آهن و آلومینیوم معمول در خاک‌ها عبارتنداز گیبسایت $Al(OH)_3$، گوتیت (FeOOH) و هماتیت Fe_2O_3 . برای سهولت به آن‌ها رس‌های اکسیدهای آهن و آلومینیوم گفته می‌شود. بعضی دارای ساختمان بلوری مشخص هستند، اما بقیه بی‌شکل می‌باشد. رس‌های آهن و آلومینیوم که معمولاً رس‌های لایه‌ای را پوشش داده‌اند، همانند آن‌ها چسپنده و شکل‌پذیر نمی‌باشند. در I بالا میسل دارای بارمنفی است که با کاتیون‌های هم‌ظرفیت آن محاصره شده است. در خاک‌های خیلی اسیدی بعضی از اکسیدهای Fe Al دارای بار خالص مثبت شده و آنیون‌های دارای بار منفی را به‌جای کاتیون‌ها جذب می‌کنند (تبادل آنیونی در بخش۱٤-۸ مورد بحث ار گرفته است).

کلوییدهای آلی خاک: هموس

سازمان کلوییدی هموس شباهت‌های چندی با رس دارد. یک میسل دارای بار زیاد به‌وسیله‌ی گروهی از کاتیون‌ها محاصره شده است. کلویید هموس بلوری نبوده اگرچه از زنجیره‌های به‌هم پیچیده‌ی کربن در پیوند با هیدروژن، اکسیژن، و ازت تشکیل شده‌اند. کلوییدی آلی از نظر اندازه متفاوت امّا حداقل به اندازه‌ی ذرات رس‌های سیلیکاتی کوچک می‌باشند.

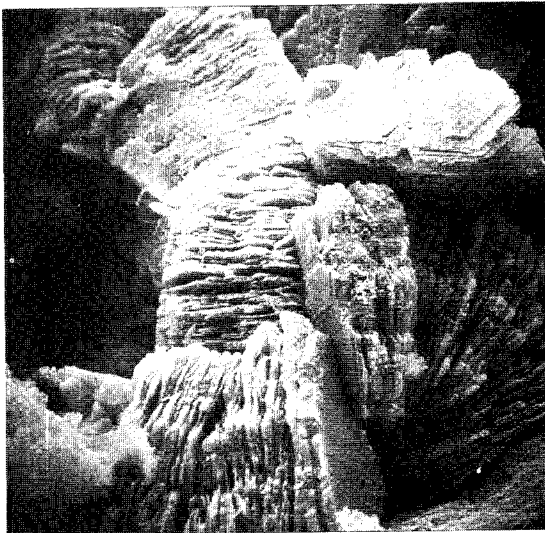
---

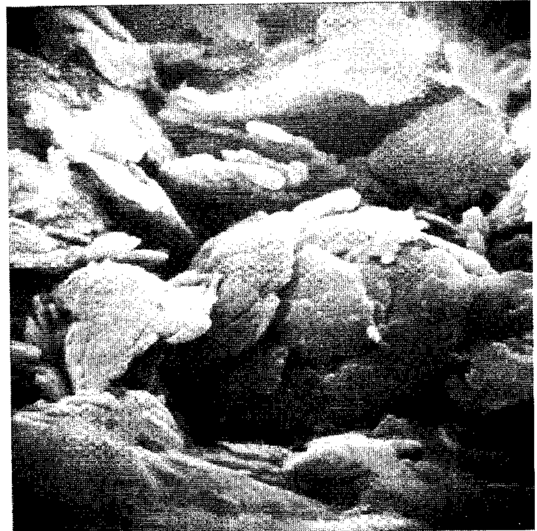
[1]- Alophane & Imogolite

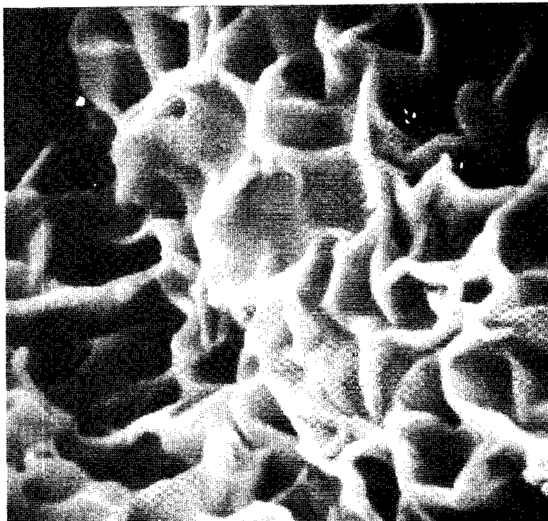
[2]- به کانی‌هایی که دارای ساختمان بلورین منظم در فاصله‌ی طولانی (۱۰۰-۱۰ نانومتر (10^{-9} متر))در داخل ذرات می‌باشند کانی‌های دارای نظم طولانی اطلاق می‌شود. سایر کانی‌ها مانند آلوفان و ایموگلیت، که در فاصله کوتاه دارای ساختمان منظم در داخل مواد غیربلورین می‌باشند کانیهای دارای نظم محدود **short-range order minerals** اطلاق می‌شود

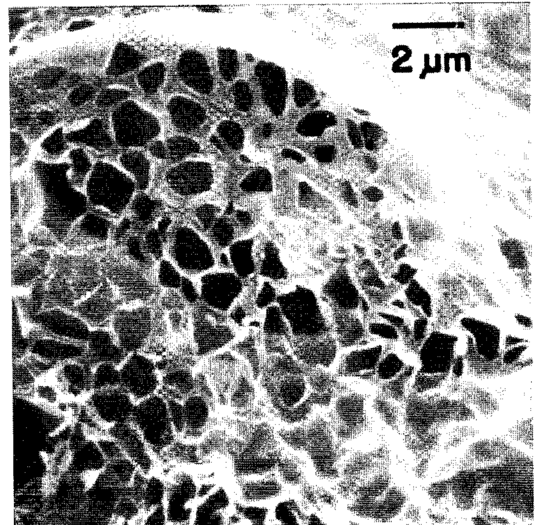
بار منفی هموس درنتیجه تفکیک بخشی از گروه‌های اینولیک (OH-)، کربوکسیل(COOH-) و فنولیک (OH-) می‌باشد. این گروه‌ها نیز با واحدهای مرکزی با اندازه و پیچیدگی ساختمانی متفاوت همراهند. رابطه این گروه‌ها در شکل ۳-۸ تشریح شده است.

همان‌طورکه در مورد اکسیدهای Al و Fe مطرح گردید، بار منفی همراه با هموس وابسته به pH خاک می‌باشد. تحت شرایط خیلی اسیدی، بار منفی کلویید چندان بالا نیست، بلکه کمتر از بعضی از رس‌های سیلیکاتی است. با بالارفتن pH یون‌های هیدروژن اوّل از گروه‌های کربوکسیل و سپس از گروه‌های اینولیک و فنولیک تفکیک گردیده و این سبب افزایش زیاد بار منفی بر روی کلویید می‌گردد. تحت شرایط خنثی تا قلیایی بار الکتریکی منفی هموس در واحد سطح به‌مراتب از رس‌های سیلیکاتی بالاتر است. در این خاک‌ها با pH بالا، هیدروژن جذب شده به‌وسیله‌ی کلسیم، منیزیم و دیگر کاتیون‌ها جایگزین شده است (شکل ۳-۸).


(الف)

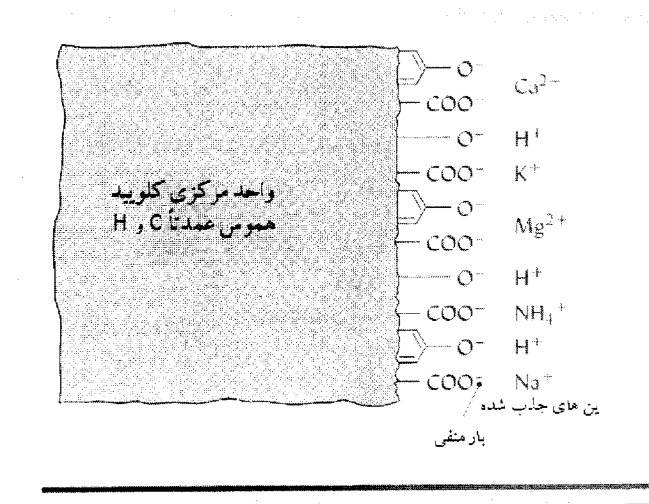

(ب)


(ج)



(د)

شکل ۲-۸ بلورهای سه کانی رس سیلیکاتی و ریزتصویر اسید هومیک که در خاک‌ها یافت می‌شود (الف) کائولینیت از ایالت ایلی‌نوی حدود ۱۹۰۰ برابر بزرگ شده است (به بلورهای ٦ وجهی در قسمت بالا سمت چپ توجه کنید) (ب) یک میکای بافت ریز که در ویسکانسین یافت می‌شود حدود ۱۷٦۰۰ برابر درشت شده است (ج) مونت‌موریلونیت (گروه کانی‌های اسمکتیت) از ایالت ویومینگ ۲۱۰۰۰ برابر بزرگ شده است (د) اسید فولویک (یک اسیدهومیک) از ایالت جورجیا ۲۳ هزار برابر بزرگ شده است.



شکل ۳-۸ جذب کاتیون‌ها به‌وسیله‌ی کلویید هموس. گروه‌های هیدرکسی فنلیک به حلقه‌های مواد معطر OH– ⬡ چسپیده‌اند. دیگر گروه‌های OH- و کربوکسیل (COOH-) با اتم‌های کربن در هسته مرکزی پیوند دارند. به شباهت کلی در موقعیت جذب با رس‌های سیلیکاتی توجه کنید

۳-۸ کاتیون‌های جذب‌شده

در مناطق مرطوب کاتیون‌های کلسیم، آلومینیوم و به میزانی کمتر هیدروژن فراوان‌ترین کاتیون‌ها هستند، درصورتی‌که در مناطق خشک کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، پتاسیم و سدیم غالب می‌باشند (جدول ۱-۸). یک همتافت کلوییدی ممکن است به‌صورت روش ساده‌ی زیر در هر منطقه معرفی گردد.

منطقه‌ی خشک [میسل] (e) Ca_2^+ (f) Mg^{2-} (g) K^+ (h) M^+

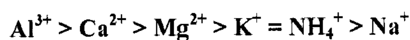
منطقه‌ی مرطوب [میسل] (a)Ca^{2+} (b)Al^{3-} (c) H^+ (d) M^+

M^+ شامل مقادیر اندکی از دیگر کاتیون‌های بازی مانند Na^+ و NH_4^+ جذب شده‌ی کلویید است، a تا h بیانگر متغیربودن تعداد کاتیون‌ها است.

این مثال‌ها مشخص می‌سازد که کلوییدهای خاک و یون‌های قابل تبادل همراه آن‌ها می‌توانند با یک ساده‌نگری کلی به‌صورت نمک‌های همتافت[1] مورد ملاحظه قرار گیرند که دارای یک آنیون بزرگ (میسل) است که به‌وسیله‌ی کاتیون‌های متعدد محاصره شده‌اند.

فراوانی کاتیون‌ها

دو عامل میزان نسبی کاتیون‌های مختلف جذب شده به‌وسیله‌ی رس‌ها را مشخص می‌کند اول این‌که این یون‌ها با شدت یکسانی بر روی کلوییدهای خاک نگهداری نمی‌شوند، ترتیب شدت جذب وقتی آن‌ها در مقادیر هم‌ظرفیت حضور داشته باشند، عبارتند از :



$$Al^{3+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ = NH_4^+ > Na^+$$

دوم میزان غلظت نسبی کاتیون‌ها در محلول خاک میزان جذب آن‌ها را تعیین می‌کند. بنابراین، در محلول خاک‌های خیلی اسیدی تراکم یون‌های Al^{3+} و H^+ هر دو بالاست و این یون‌ها کاتیون‌های غالب جذب شده‌ی کلویید را تشکیل می‌دهند. در pH خنثی و بالاتر، غلظت H^+ و Al^{3+} بسیار پایین است و بنابراین جذب آن‌ها حداقل است. در خاک‌های خنثی تا اندکی قلیایی Ca^{2+} و Mg^{2+} غالب می‌باشند، در بعضی از خاک‌ها با زهکشی ضعیف در مناطق خشک، نمک‌های دارای سدیم زیاد افزایش می‌یابند و جذب Na^+ بسیار فراوان می‌گردد. نسبت فراوانی کاتیون‌ها در راسته‌های مختلف خاک در جدول ۱-۸ نشان داده شده است.

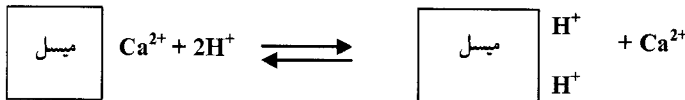
[1] - Complex salts

جدول ۱-۸ خصوصیات نمونه کاتیون‌های عمده جذب شده در لایه‌های سطحی رده‌های مختلف خاک (اعداد درصد در هر مورد بر اساس جمع هم‌ظرفیت کاتیون‌ها به‌میزان ۱۰۰ می‌باشد)

رده‌ی خاک	موقعیت	درصد H^+ و Al^{3+}	درصد Ca^{2+}	درصد Mg^{2+}	درصد K^+	درصد Na^+
اکسی‌سول	هاوایی	۸۵	۱۰	۳	۲	کم
اسپدوسول	نیوانگلند	۸۰	۱۵	۳	۲	کم
التی‌سول	جنوب شرق آمریکا	۶۵	۲۵	۶	۳	۱
الفی‌سول	پنسیلوانیا تا ویسکانسین	٤٥	۳۵	۱۳	٥	۲
ورتی‌سول	آلاباما تا تگزاس	٤۰	۳۸	۱٥	٥	۲
مولی‌سول	نیمه غربی آمریکا	۳۰	٤۳	۱۸	٦	۳
اریدی‌سول	آمریکای جنوب غربی	-	٦٥	۲۰	۱۰	٥

تبادل کاتیونی

همان‌طورکه در فصل اوّل اشاره گردید، کاتیون‌های جذب سطحی شده در معرض تبادل با سایر کاتیون‌های موجود در محلول خاک قرار می‌گیرند. برای مثال یک ین کلسیم نگهداری شده بر روی سطح کلوییدی در معرض تبادل با ین H^+ در محلول خاک قرار می‌گیرد.



بنابراین، کلوییدهای خاک مکان اصلی برای واکنش‌های تبادل کاتیونی می‌باشند که اثرات برجسته‌ای بر روابط خاک گیاه دارند. این مسایل در جزییات بیشتر (فصل ۱۱-۸) بعد از ملاحظه انواع رس‌های سیلیکاتی مورد بحث قرار خواهد گرفت.

٤-۸ مبانی ساختمان رس‌های سیلیکاتی لایه‌ای

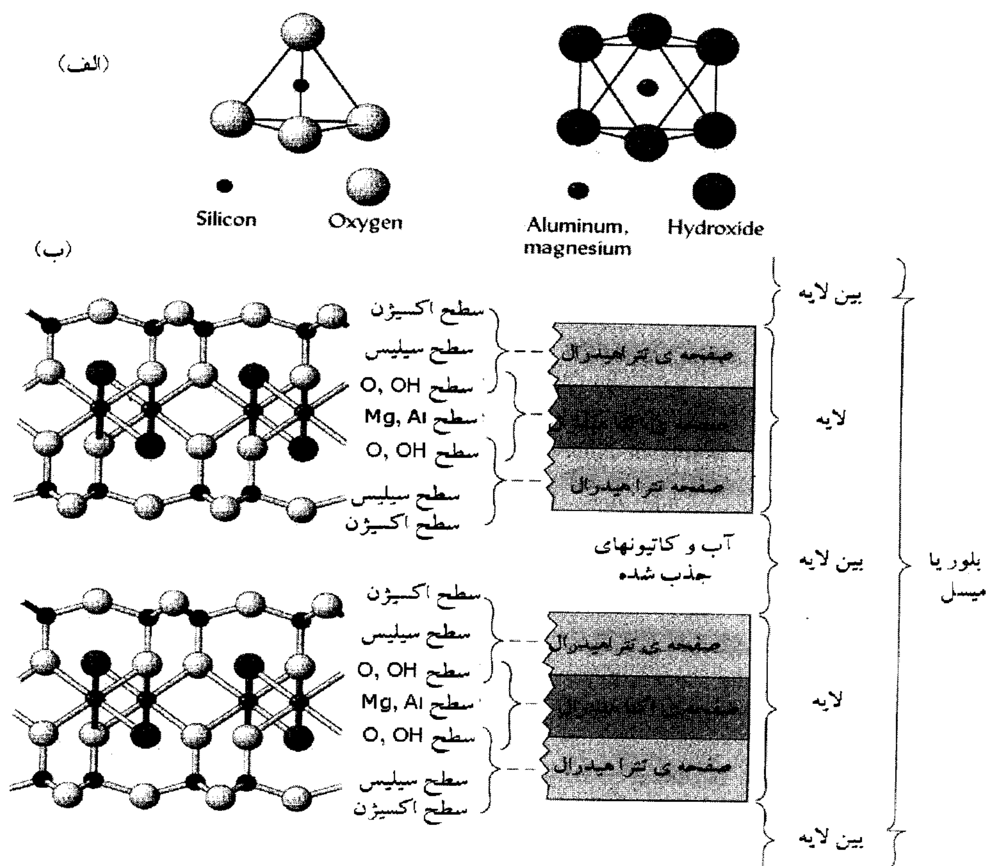
حال که خصوصیات کلی کلوییدهای خاک و کاتیون‌های همراه آن‌ها بیان شد، به ملاحظه‌ی دقیق بلورهای رسی باز می‌گردیم. استفاده از اشعه‌ی X و میکروسکوپ الکترونی و سایر روش‌ها مشخص ساخته است که ذرات رس‌های سیلیکاتی بلوری بوده و هر ذره از لایه‌های انفرادی و یا صفحاتی چند (شکل٤-۸) تشکیل شده است، سازمان کانی‌شناسی این لایه‌ها از یک نوع رس با نوع دیگر متفاوت است و در خصوصیات کانی به‌طور مشخص مؤثر است، به این دلیل نظری، مبانی ساختار رس‌های سیلیکاتی قبل از بررسی کانی‌های رس سیلیکاتی خاص تشریح خواهد شد.

صفحات چهاروجهی سیلیس و ۸ وجهی آلومینیوم – منیزیم

مهم‌ترین رس‌های سیلیکاتی به‌نام فیلوسیلیکاتها[1] (در یونانی فیلون[2] به‌معنی برگ است) به‌خاطر ساختمان برگ مانند و یا صفحه‌ای آن‌ها مشهورند. همان‌طورکه در شکل٤-۸ نشان داده شده است، آن‌ها از دو نوع صفحه تشکیل شده‌اند. که در یکی، دو صفحه‌ی اکسیژن یک صفحه‌ی سیلیس را در بر گرفته‌است، و در دیگری دو صفحه‌ی اکسیژن و هیدراکسیل یک صفحه آلومینیوم و/یا منیزیم را احاطه کرده‌اند.

واحد ساختمانی اصلی برای صفحه سیلیس از یک اتم سیلیس و چهار اتم اکسیژن اطراف آن تشکیل شده است و به آن سیلیس تتراهیدرون[3]، به‌خاطر شکل٤ وجهی‌آن اطلاق می‌شود (شکل٤-۸)، مجموعه‌ای منظم از این سیلیس‌های چهاروجهی که به‌وسیله‌ی آنیون‌های اکسیژن مشترک در صفحات طرفین به‌هم متصل شده‌اند صفحه‌ی چهاروجهی[4] نامیده می‌شود.

[1]- Phyllosilicates
[2] - Phyllon
[3]- Si tetrahydron
[4]- Telrahydion sheet



شکل ٤-٨ اجزای مولکولی و ساختمانی رس‌های سیلیکاتی. (الف) یک ساختمان ٤ وجهی انفرادی از یک یون سیلیس که با ٤ اتم اکسیژن احاطه شده است و یک ٨ وجهی انفرادی که در آن یک اتم آلومینیوم (ویا منیزیم) به‌وسیله‌ی گروه هیدراکسیل و یا اکسیژن احاطه شده، تشکیل گردیده است. (ب) در بلورهای رسی از این ساختمان‌های ٤ وجهی و ٨ وجهی هزاران به‌همدیگر اتصال یافته تا سطوح آلومینیوم (و یا منیزیم) و سیلیسیم را تشکیل دهند. توجه کنید که اکسیژن‌های راس چهاروجهی سیلیس در صفحات ٤ وجهی و ٨ وجهی مشترک می‌باشند. این سطوح در تناوب با سطوح اتم‌های اکسیژن و هیدراکسیل (دایره‌های پر) می‌باشند. سطح سیلیس و سطوح اکسیژن/ هیدراکسیل یک صفحه چهاروجهی ایجاد می‌کند، همین‌طور سطوح آلومینیوم/ منیزیم و سطح همراه اکسیژن/ هیدراکسیل یک صفحه ٨ وجهی ایجاد می‌کنند. ترکیبات مختلف صفحات چهاروجهی و ٨ وجهی، لایه‌ها نامیده می‌شود. در بعضی از رس‌های سیلیکاتی این لایه‌ها به‌وسیله‌ی بین لایه‌هایی که در آن آب و کاتیون‌های جذب شده وجود دارند از همدیگر جدا می‌شوند لایه‌های زیادی در هر بلور و یا میسل یافت می‌شود.

یون‌های آلومینیوم و/ یا منیزیوم کاتیون‌های کلیدی در صفحه‌ی نوع دوم می‌باشند. یک ین آلومینیوم (و یا منیزیم) به‌وسیله‌ی ٦ اتم اکسیژن و یا گروه هیدراکسیل احاطه شده و یک واحد ساختمانی ٨ وجهی را تحت عنوان اکتاهیدرون[1] (شکل ٤-٨) ایجاد می‌کنند. اکتاهیدرون‌های مختلف با همدیگر اتصال یافته و یک صفحه اکتاهیدرال[2] را تشکیل می‌دهند. یک صفحه با غالبیت آلومینیوم به صفحه دی‌اکتاهیدرال[3] مشهوراست درصورتی‌که صفحه با غالبیت منیزیم صفحه تری‌اکتاهیدرال[4] نامیده می‌شود. تمایز آن‌ها در ارتباط با این واقعیت است که دو ین آلومینیوم در صفحه‌ی دی‌اکتاهیدرال برای خنثی‌کردن همان بارهای منفی اکسیژن و هیدراکسیل مانند سه اتم منیزیم در صفحه تری‌اکتاهیدرال کفایت می‌کنند. همان‌طورکه بعداً خواهیم دید وقتی هر دو کاتیون حضور داشته باشند گونه‌های حد واسط فراوانی به‌وجود خواهد آمد.

1- Octahydron
2- Octahydral sheet
3- Dioctahedral
4- Trioctahydral

صفحات چهاروجهی و ۸ وجهی اساس واحدهای ساختمانی رس‌های سیلیکاتی می‌باشند. آن‌ها نیز به‌نوبه‌ی خود به‌وسیله‌ی اتم‌های اکسیژن مشترک با همدیگر در داخل بلور متصل گشته و لایه‌های مختلفی را ایجاد می‌کنند. سرشت خاص و ترکیب صفحات در این لایه‌ها از یک نوع با نوع دیگرمتفاوت است و تا حد زیادی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رس را مشخص می‌سازد، رابطه بین صفحات و لایه‌ها، که در شکل ٤-۸ نشان داده شده است، مهّم بوده و باید درک گردد.

جانشینی هم‌شکل[1]

نظم و ترتیب ساختمانی که هم‌اکنون تشریح گردید یک رابطه‌ی ساده را بین عناصری که رس‌های سیلیکاتی را می‌سازند مطرح می‌کند. هرچند در طبیعت، فرمول‌های بسیار پیچیده‌ای حاصل می‌شود. تخریب انواع زیادی از سنگ‌ها و کانی‌ها امکان جانشینی کاتیون‌ها با اندازه‌ی مشابه را برای سیلیس، آلومینیوم و منیزیم در لایه‌های چهاروجهی و ۸ وجهی مربوطه فراهم می‌سازد.

شعاع یونی شماری از یون‌های معمول که در رس هستند، برای تشریح این نکته در جدول۲-۸ آمده است. توجه داشته باشید که آلومینیوم فقط کمی بزرگ‌تر از سیلیس است درنتیجه، آلومینیوم می‌تواند در مرکز چهاروجهی به‌جای سیلیس بدون به‌هم‌زدن ساختمان اصلی بلور جایگزین گردد. این فرایند که جانشینی هم‌شکل نامیده می‌شود معمول بوده و سبب تنوع بسیار زیاد در سرشت رس‌های سیلیکاتی می‌گردد.

جانشینی هم‌شکل در صفحه هشت‌وجهی نیز صورت می‌گیرد. در جدول ۲-۸ توجه کنید که یون‌هایی مانند آهن و روی از نظر اندازه با آلومینیوم و منیزیم تفاوت چندانی ندارند، درنتیجه این یون ها می توانند به‌عنوان یون مرکزی جایگزین آلومینیوم ویا منیزیم در صفحه ۸وجهی گردند. باید تأکید کرد که بعضی سیلیکات‌های لایه‌ای براثر جانشینی هم‌شکل در هریک و یا هر دو لایه اکتاهیدرال و تتراهیدرال مشخص می‌شوند.

منابع بار

جانشینی هم‌شکل دارای اهمیت حیاتی می‌باشد، زیرا منبع اولیه هم بار منفی و هم بار مثبت در رس‌های سیلیکاتی می‌باشد. برای مثال، جانشینی Al^{3+} برای Si^{4+} در صفحه‌ی چهاروجهی سبب ایجاد یک بار منفی آزاد می‌شود، به‌همین‌ترتیب جانشینیAl^{3+} برای یک Mg^{2+} در صفحه تری‌اکتاهیدرال سبب ایجاد یک بار مثبت اضافی خواهد شد. خالص بار همراه یک میسل رس حاصل تعادل بین بارهای مثبت و منفی می‌باشد. در اکثر رس‌های سیلیکاتی بار منفی غالب است این موضوع بعدها مورد توجه بیشتری قرار خواهد گرفت (بخش۸-۸ را مشاهده کنید).

۵-۸ سازمان کانی‌شناسی رس‌های سیلیکاتی

بر اساس تعداد و نظم و ترتیب صفحات چهاروجهی (سیلیس) و ۸ وجهی (آلومینیوم ومنیزیم) موجود در واحد بلور و یا لایه‌ها، رس‌های سیلیکاتی به دو گروه مختلف رس‌های ۱:۱و رس‌های ۲:۱ طبقه‌بندی شده‌اند: به‌منظور تشریح هرچه بیشتر یک عنصر (رس) از این انواع، به‌طور مختصر مورد بحث قرار خواهد گرفت.

کانی‌های ۱:۱

لایه‌های کانی‌های نوع ۱:۱ از یک صفحه چهاروجهی(سیلیس) توأم بایک صفحه ۸ وجهی(آلومینیوم) تشکیل شده است و به این خاطر به آن‌ها کانی‌های ۱:۱ اطلاق می‌شود (شکل ۵-۸). درخاک‌ها کائولینیت عنصر بسیار فراوان از این گروه می‌باشد که شامل کانی‌های هالوسیت[2]، ناکریت[3] و دیکیت[4] نیزمیباشند.

صفحات چهاروجهی و۸ وجهی در یک لایه بلور کائولینیت به‌وسیله‌ی اتم‌های اکسیژن محکم به‌همدیگر اتصال یافته و این اتم‌ها بین کاتیون‌های سیلیس و آلومینیوم در صفحات مربوطه به اشتراک گذاشته شده‌اند. این لایه‌ها با لایه‌های مجاور به‌وسیله‌ی پیوند هیدروژنی متصل شده‌اند (فصل۱-۵ را مشاهده کنید). درنتیجه ساختمان کانی ثابت بوده و انبساطی معمولاً بین لایه‌ها وقتی رس مرطوب می‌شود صورت نمی‌پذیرد. کاتیون‌ها و آب نمی‌توانند بین لایه‌های ساختمانی ذرات کانی نوع ۱:۱ وارد شوند، بنابراین سطح مؤثر کائولینیت محدود به سطح خارجی آن می‌شود. به‌علاوه جانشینی هم‌شکلی در این نوع کانی‌های ۱:۱ اندک است. این خصوصیت همراه با سطح نسبتاً اندک کائولینیت دلیل ظرفیت کم آن برای جذب کاتیون‌ها می‌باشد.

---

[1]- Isomorphism substitution
[2]- Hallosite
[3]- Nacrite
[4]- Dickite

بلورهای کائولینیت معمولاً ٦ وجهی می‌باشند (شکل۲-۸)، در مقایسه با سایر ذرات رس این کانی دارای اندازه بزرگ بوده و قطر آن در دامنه‌ی ۵-۰/۱ میکرون بوده و اکثر آن‌ها در دامنه‌ی ۲-۰/۲ میکرون قرار دارند. به‌دلیل نیروهای پیوندی قوی بین لایه‌های ساختمانی آن‌ها، ذرات کائولینیت به آسانی به صفحات خیلی نازک شکسته نمی‌شوند.

جدول ۲-۸ شعاع یونی عناصر معمول در رس‌های سیلیکاتی و مشخص شدن این‌که کدام در چهاروجهی و کدام در ۸ وجهی یافت می‌شوند.

توجه کنید که OH ,O, Fe, Al می‌توانند در هر دو لایه جای گیرند

یون	OH	O^{2-}	K^+	Ca^+	Na^+	Fe^{2+}	Zn^{2+}	Mg^{2+}	Fe^{3+}	Al^{3+}	Si^{4+}
شعاع n.m	0.155	0.140	0.133	0.099	0.097	0.07	0.074	0.066	0.064	0.051	0.042

محل - (OH، O^{2-}): هر دو لایه؛ (K^+ تا Al^{3+}): محل‌های تبادل؛ (Fe^{2+} تا Al^{3+}): ۸ وجهی آلومینیوم؛ (Fe^{3+} تا Si^{4+}): ۴ وجهی سیلیس

برخلاف دیگر گروه‌های سیلیکاتی کائولینیت دارای شکل‌پذیری (ظرفیت پیچ و تاب خوردن) چسبندگی، هم‌چسبی، انقباض و انبساط اندکی می‌باشد. سطح محدود و ظرفیت جذب اندک کاتیونی و مولکول‌های آب مشخص می‌کنند که کائولینیت خصوصیات کلوییدی را در حد بالایی نشان نمی‌دهد (جدول۳-۸ را مشاهده کنید). درعین‌حال خاک‌های دارای کائولینیت بسترهای خوبی برای جاده‌ها و ساختمان‌ها ایجاد کرده و معمولاً برای ساخت آجر به‌کار می‌روند. خاک‌ورزی در آن‌ها به آسانی انجام گرفته و از نظر کشاورزی به‌راحتی قابل مدیریت می‌باشند. این رس‌ها با تأمین عناصر غذایی حاصل از کود دامی و کودهای شیمیایی می‌توانند دارای توان تولیدی بالایی گردند.

کانی‌های ۲:۱

واحدهای بلوری (لایه‌ها) این کانی‌ها به‌وسیله‌ی یک صفحه ۸ وجهی، که در بین دو صفحه چهاروجهی قرار گرفته، مشخص می‌گردند، چهار نوع کلی دارای این نوع ساختمان اساسی می‌باشند دو نوع از آن‌ها اسمکتیت[1] و ورمی‌کولیت[2] شامل کانی‌های منبسط‌شونده هستند درصورتی‌که دو نوع دیگر میکاهای دانه‌ریز(ایلیت[3]) و کلریت تقریباً غیرمنبسط شونده می‌باشند.

کانی‌های منبسط شونده: گروه اسمکتیت به‌خاطر انبساط بین لایه‌ای که با مرطوب‌شدن و ورود آب بین لایه‌ها حاصل می‌شود مشخص می‌گردند. مونت‌موریلونیت عضو بسیار غالب این گروه در خاک‌ها می‌باشد. به‌علاوه کانی‌های دیگری مانند بیدلایت[4] نانترونیت[5] و ساپونیت[6] نیز در این گروه قرار دارند.

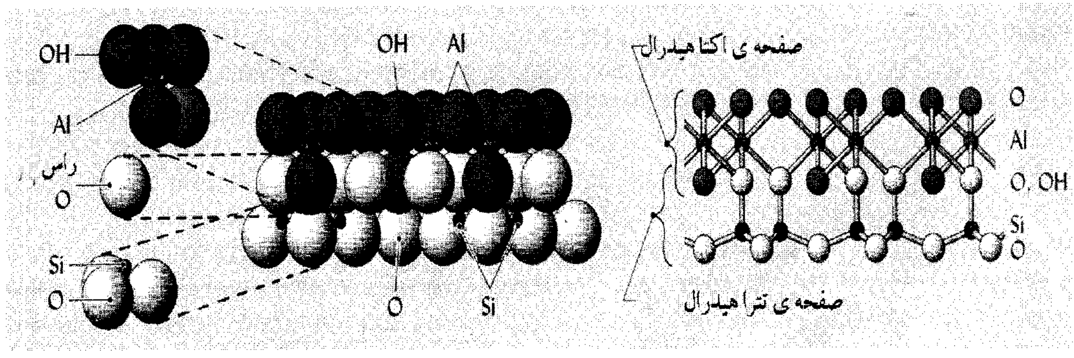
بلورهای فلس‌مانند مونت‌موریلونیت (شکل۲-۸)، از لایه‌های نوع ۲:۱ ترکیب شده‌اند که در شکل ٦-۸ نشان داده شده است. درعوض این لایه‌ها با پیوند خیلی ضعیف اکسیژن با اکسیژن و کاتیون با اکسیژن بسیار سست با همدیگر اتصال یافته‌اند. کاتیون‌های قابل تبادل و مولکول‌های آب همراه در بین لایه‌ها (فضای بین لایه‌ای) جذب شده‌اند و سبب انبساط لایه‌های بلورین می‌شود. سطح داخلی آشکارشده به‌مراتب از سطح خارجی این کانی‌ها وسیع‌تر می‌باشند. برای مثال، سطح ویژه و یا سطح کل تقسیم بر واحد جرم (سطح داخلی و خارجی) یک کانی اسمکتیت (مونت‌موریلونیت) ٦۵۰ تا ۸۰۰ مترمربع درگرم است. رقم مشابه برای کائولینیت فقط ۵ تا ۲۰ مترمربع در گرم می‌باشد (جدول ۳-۸). اندازه‌ی این بلورهای اسمکتیت از ۰/۱ تا ۱ میکرون است. که از اندازه‌ی متوسط کائولینیت بسیار کوچک‌تر می‌باشند.

جانشینی هم‌شکل Mg^{2+} برای بعضی از ین‌های Al^{3+} در صفحه دی‌اکتاهیدرال علّت اکثر بار منفی اسمکتیت است. گرچه گاهی جانشینی Al^{3+} به‌جای Si^{4+} در صفحه چهاروجهی صورت می‌گیرد. اسمکتیت معمولاً دارای ظرفیت تبادل کاتیونی بالا بوده که شاید٤-۲۰ برابرکائولینیت باشد.(جدول۳-۸). اسمکتیت همچنین به‌خاطر شکل‌پذیری و چسبندگی بالا، و انبساط قابل توجه آن در صورت خیس‌شدن، و انقباض آن در هنگام خشک‌شدن، شاخص می‌باشد. ترک‌های عریض معمولاً در خاک‌های دارای اسمکتیت هنگام خشک‌شدن، تشکیل

---

[1]- Smectite
[2]-Vermiculite
[3]- Illite
[4]- Beidellite
[5]- Nontronite
[6]- Saponite

می‌شود (خاک‌های ورتی‌سول[1] (شکل ۳۵-٤). خاکدانه‌های خشک و کلوخه‌ها بسیار سخت بوده به‌طوری‌که انجام عملیات خـاک‌ورزی در آن مشکل می‌باشد. به‌علاوه خاک‌های حاوی اسمکتیت شالوده‌های بسیار ضعیفی برای پی منازل و جاده‌ها ایجاد می‌کنند.



شکل ۵-۸ مدل یون‌هایی که یک لایه رس کائولینیتی از نوع ۱:۱ را تشکیل می‌دهند. عناصر اولّیه اکتاهیدرال (بالا سمت چپ) و تتراهیدرال (پایین سمت چپ) چنان نشان داده شده‌اند که انگار از همدیگر جدا می‌باشند در ساختمان بلورین، این صفحات به‌وسیله‌ی اتم‌های اکسیژن مشترک، که اتم‌های رأس نامیده می‌شود، به همدیگر متصل می‌باشند توجه کنید هر لایه از صفحات متناوب اکتاهیدرال (Al) و تتراهیدرال (Si) تشکیل شده است و بنابراین به آن رس ۱:۱ گفته می‌شود. ین‌های آلومینیوم که به‌وسیله‌ی ٦ گروه هیدراکسیل و با اتم‌های اکسیژن رأس احاطه شده است، صفحه‌ی اکتاهیدرال را می‌سازد (بالا سمت چپ). ین‌های کوچک سیلیس همراه با چهار اتم اکسیژن (از جمله اکسیژن رأس) صفحه‌ی تتراهیدرال را می‌سازد (پایین چپ). صفحات اکتاهیدرال و تتراهیدرال (وسط) با اتم‌های اکسیژن مشترک دو جانبه (رأس) با همدیگر پیوند یافته‌اند (وسط). حاصل ایجاد لایه‌ای با ین‌های هیدراکسیل در یک سطح و اکسیژن در سطح دیگر می‌باشد. نقاشی نظم یونی (راست) بیانگر نمای مقطع عرضی یک لایه بلورین می‌باشد. به اکسیژن‌های رأس مشترک که صفحات را به‌هم وصل می‌کند توجه کنید. (به‌خاطر مشاهده اتم‌های سیلیس جلویی در صفحه‌ی سیلیس (نقاشی وسط) اتم‌های اکسیژن قاعده نشان داده نشده است)

جدول ۳-۸ خصوصیات عمده‌ی کانی‌های رسی* انتخاب شده و هموس

خصوصیات	اسمکتیت	ورمی‌کولیت دی‌اکتاهیدرال	میکای ریز	کلریت	کائولینیت	هموس
اندازه µm	0.01-1	0.1-5.0	0.2-2	0.1-2	0.1-5	0.1-1
شکل	فلس مانند	بشقابی – فلس مانند	فلس	متغیر	٦وجهی	متغیر
سطح خارجی m^2/g	۸۰-۱۴۰	۷۰-۱۲۰	۷۰-۱۰۰	۷۰-۱۰۰	۱۰-۳۰	متغیر***
سطح داخلی m^2/g	۵۷۰-۶۶۰	۶۰۰-۷۰۰	–	–	–	–
فضای بین لایه‌ای nm **	۱-۲	۱/۰-۱/۵	۱/۰	۱/٤	۰/۷	–
بار خالص منفی $Cmol_c/kg$	۸۰-۱۲۰	۱۰۰-۱۸۰	۱۵-٤۰	۱۵-٤۰	۲-۵	۱۰۰-۵۵۰

* هر دونوع دی و تری‌اکتاهیدرال در رس‌های ۲:۱ یافت می‌شوند، اما صفات تری‌اکتا هیدرال در رس‌های کلریت غالب بوده ولی صفات دی‌اکتـا هیـدرال درسـایر رس‌هـا معمولا غالب می‌باشد

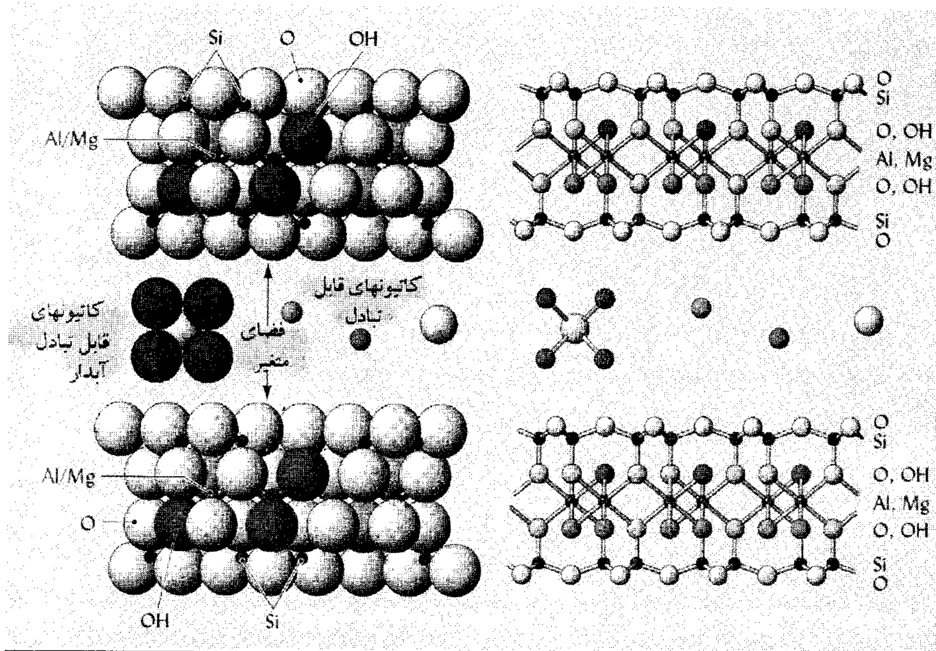
** از بالای یک لایه تا بالای لایه مجاور بر حسب نانومتر(nm) که 10^{-9} متر می‌باشد

*** تعیین سطح رس هموسی به‌طور دقیق مشکل است، کاربرد روش‌های مختلف مقادیری در دامنه ۲۰ – ۸۰۰ مترمربع در گرم بدست می‌دهد

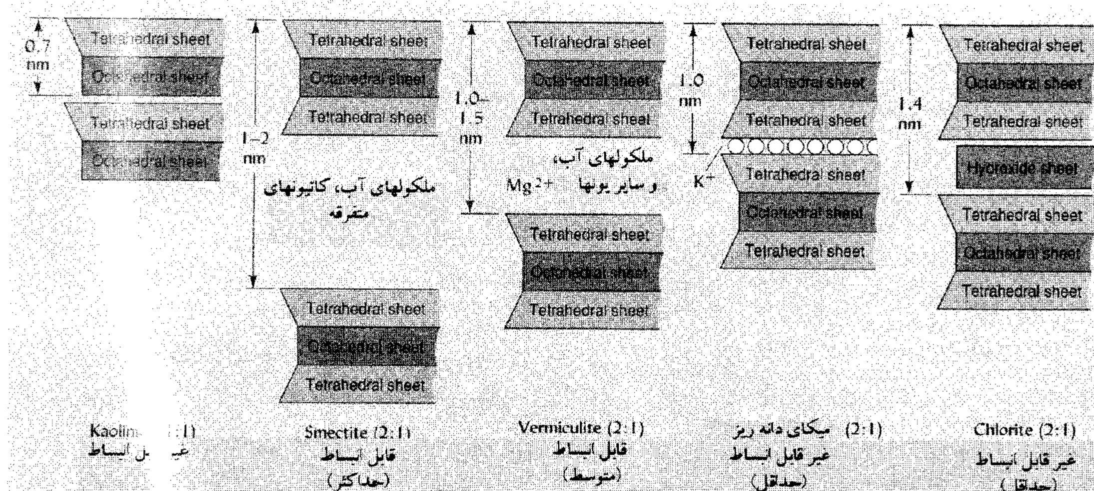
ورمی‌کولیت نیز یک کانی نوع ۲:۱ است یک صفحه اکتاهیدرال در بین دوصفحه تتراهیدرال قرار گرفته است. در ورمی‌کولیـت در اکثـر خاکها، صفحه اکتاهیدرال با غالبیت آلومینیوم می‌باشد (دی‌اکتاهیدرال)، گرچه ورمی‌کولیت‌های منیزیم دار(تری‌اکتاهیدرال) نیز موجود است. در لایه تتراهیدرال اکثر ورمی‌کولیت‌ها جانشینی قابل توجه آلومینیوم به‌جای سیلیس صورت گرفته و این دلیل عمده‌ی بار منفی بسیار بالای موجود در این کانی‌ها می‌باشد.

مولکول‌های آب همراه با منیزیم و دیگر ین‌ها به‌شدت در فضای بین‌لایه‌ای ورمی‌کولیت جذب شده‌اند (شکل۷-۸).گرچه آن‌هـا عمـدتاً همانند پل‌هایی می‌باشند که این واحدها را به‌هم اتصال می‌دهند (نه صفحاتی که آن‌ها را از هم جدا می‌سـازد) بنـابراین درجـه انبسـاط در ورمی‌کولیت به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کمتر از اسمکتیت می‌باشد. به این دلیل ورمی‌کولیت به‌عنوان کانی رسی با انبساط محدود نامیده می‌شود که از کائولینیت بیشتر اما از کانی‌های اسمکتیت به مراتب کمتر منبسط می‌گردد.

[1]- Vertisols



شکل ۶-۸ مدل دو لایه بلورین و یک بین لایه‌ای مشخصه‌ی مونت‌موریلونیت از دسته کانی‌های رس اسمکتیت منبسط شونده نوع ۲:۱ می‌باشد، هر لایه از یک صفحه اکتاهیدرال (آلومینیوم) که بین دو صفحه چهاروجهی سیلیس قرار گرفته، با اتمهای اکسیژن رأس مشترک که صفحات را به‌همدیگر اتصال داده تشکیل شده است. کشش اندکی بین اتمهای اکسیژن در زیر صفحه تتراهیدرون یک واحد و اتمهای اکسیژن در بالای لایه تتراهیدرون واحد دیگر وجود دارد، و این امکان یک فضای آزاد و متغیر را در بین لایه‌ها فراهم می‌سازد که به‌وسیله‌ی آب و کاتیون‌های قابل تبادل اشغال شده است. این سطح داخلی به‌مراتب از سطح خارجی در اطراف بلورها بیشتر است. توجه داشته باشید که منیزیم آلومینیوم را در بعضی محل‌ها در صفحه اکتاهیدرال جایگزین نموده است و به‌همین‌ترتیب بعضی از اتمهای سیلیس در صفحه تتراهیدرال ممکن است به‌وسیله‌ی آلومینیوم جایگزین شوند. این جایگزینی سبب ایجاد بار منفی می‌شود که علّت ظرفیت تبادل کاتیونی بالای این کانی رسی می‌باشد. یک نقاشی از آرایش ین‌ها در سمت راست نشان داده شده است.



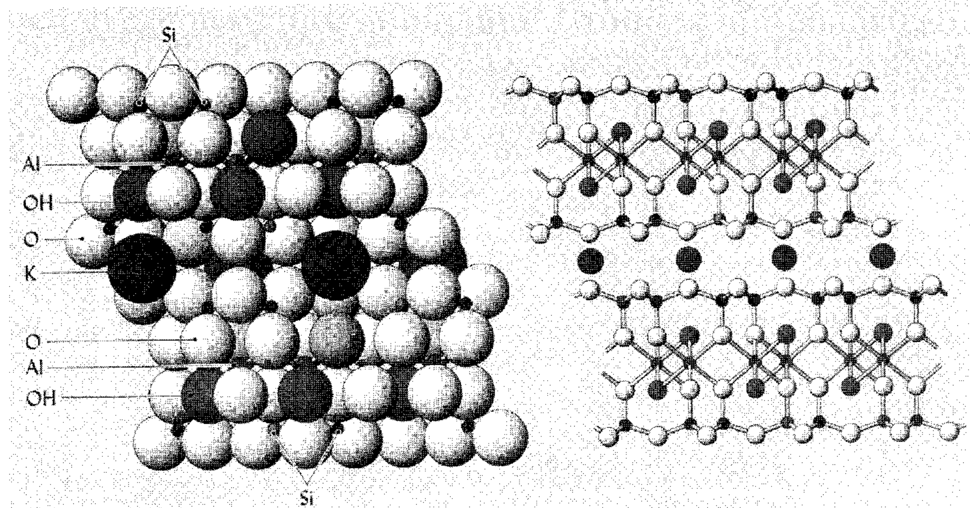
شکل۷-۸ نمای ساده‌شده که بیانگر سازمان لایه‌های اکتاهیدرال و تتراهیدرال در یک کانی نوع۱:۱ (کائولینیت) و ٤ نوع کانی دیگر۲:۱ است. صفحات اکتاهیدرال در هرنوع رس ۱-۲ می‌تواند با غالبیت آلومینیوم (دی‌اکتاهیدرال) و یا منیزیم (تری‌اکتاهیدرال) باشد. هرچند در اکثر رس‌های کلریت صفحه تری‌اکتاهیدرال غالب بوده درحالی‌که صفحه‌ی دی‌اکتاهیدرال در بقیه رسهای۱ : ۲ غالب می‌باشد. توجه کنید که در رس کائولینیت لایه‌ها با پیوند هیدروژنی به‌هم اتصال یافته و این کانی غیرقابل‌انبساط است. حداکثر انبساط بین‌لایه‌ای، در رس اسمکتیت یافت می‌شود. در ورمی‌کولیت انبساط به‌خاطر نیروی پیوند متوسط ین‌های منیزیم مقداری کمتر است. میکای دانه‌ریز و کلریت انبساط نمی‌یابند زیرا در اولی ین‌های پتاسیم و در دومی هیدراکسیدهای Mg, Al و Fe در یک صفحه‌ی اکتاهیدرال مانند لایه‌های ۲:۱ را به‌همدیگر اتصال می‌دهند. فاصله بین لایه‌ها برحسب نانومتر(10^{-9} متر) نشان داده‌شده‌است.

ظرفیت تبادل کاتیونی ورمی‌کولیت معمولاً از تمام رس هاس سیلیکاتی دیگر، از جمله مونت‌موریلونیت و دیگر کانی‌های گروه اسمکتیت به‌خاطر بار خیلی زیاد منفی در صفحه تتراهیدرال بالاتر می‌باشند (جدول۳-۸). بلورهای ورمی‌کولیت از بلورهای اسمکتیت درشت‌تر و اما به‌مراتب کوچک‌تر از بلورهای کائولینیت است.

کانی‌های انبساط‌ناپذیر: میکاها و کلریت‌ها از انواع از کانی‌های موجود در این گروه می‌باشد. مسکویت[1] و بیوتیت[2] نمونه‌هایی از میکای تخریب نشده‌اند که اغلب در بخش سیلت و شن یافت می‌شوند کانی‌های هوادیده که از نظر شیمیایی شبیه میکا می‌باشند در بخش رس خاک‌ها یافت می‌شوند به آن‌ها میکای دانه‌ریز[3] گفته می‌شود.

همانند گروه اسمکتیت میکاهای دانه‌ریز دارای بلور ۲:۱ است. هرچند ذرات بسیار بزرگ‌تر از گروه اسمکتیت می‌باشند به‌علاوه منبع عمدهٔ بار در صفحه تتراهیدرال بوده، و حدود ۲۰٪ محل‌های سیلیس به‌وسیله‌ی اتم آلومینیوم اشغال شده است این سبب ایجاد بار منفی خالص زیاد در صفحه‌ی تتراهیدرال است، این‌بار حتّی از آنچه در مورد ورمی‌کولیت گفته شد بیشتر می‌باشد. برای خنثی‌کردن این بار، یون پتاسیم در فاصله بین لایه‌ای به‌شدت جذب شده است. این یون‌ها درست دارای اندازه‌ای مناسب با فضای مشخص در بین صفحات تتراهیدرال دو لایه مجاور می‌باشد(شکل‌های۷-۸ و ۸-۸). پتاسیم بنابراین همانند یک عامل پیوند عمل نموده و از انبساط کانی ممانعت می‌کند. بنابراین میکاهای دانه‌ریز تقریباً انبساط‌ناپذیر می‌باشند.

خصوصیاتی مانند آب‌گیری، جذب کاتیونی، انبساط، انقباض و شکل‌پذیری در میکای دانه‌ریز به‌مراتب کمتر از اسمکتیت است (جدول۳-۸). میکای دانه‌ریز در ارتباط با این خصوصیات از کائولینیت پیشی می‌گیرد اما این ممکن است به‌مراتب وجود لایه‌های اسمکتیت و ورمی‌کولیت در بین لایه‌های میکا باشد. از نظر اندازه نیز میکای دانه‌ریز حد واسط اسمکتیت و کائولینیت است (جدول۳-۸)، سطح مخصوص آن‌ها از ۱۰۰-۷۰ مترمربع در گرم متغیر و حدود ۱/۸ اسمکتیت می‌باشد.



شکل ۸-۸ مدل کانی‌های انبساط‌ناپذیر گروه میکای دانه‌ریز نوع ۲:۱. ترکیب کلی لایه‌ها شبیه اسمکتیت می‌باشد. یک صفحه‌ی اکتاهیدرال (Al) در بین ۲ صفحه‌ی تتراهیدرال (سیلیس) قرار گرفته است. هرچند یون‌های پتاسیم به‌طور محکم بین لایه‌ها نگهداری شده است که در کانی یک ساختمان کم و بیش سخت ایجاد نموده است به‌طوریکه از حرکت آب و کاتیون‌ها به‌داخل فضای بین لایه‌ها ممانعت می‌کند. سطح داخلی و ظرفیت تبادل کاتیونی میکای دانه‌ریز به‌مراتب پایین‌تر از اسمکتیت می‌باشد.

کانی‌های کلریت خاک اساساً از سیلیکات‌های آهن و منیزیم همراه با مقداری آلومینیوم تشکیل شده‌اند در بلورهای رسی کلریتی لایه‌های ۲:۱ همانند آنهایی که در ورمی‌کولیت یافت می‌شد در تناوب با صفحه هیدراکسید (شکل۷-۸ را مشاهده کنید) بوده که می‌تواند دی‌اکتاهیدرال و یا تری‌اکتاهیدرال باشد. هرچند منیزیم معمولاً در صفحه هیدراکسید بین لایه‌ای (تری‌اکتاهیدرال) و همین‌طور صفحه تری‌اکتاهیدرال خود رس کلریت ۲:۱ غالب می‌باشد.

---

[1]- Muscovite
[2]- Biotite
[3]- Fine Grained Mica

بار منفی کلریت باندازه‌ی میکای دانه‌ریز و به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کمتر از اسمکتیت و ورمی‌کولیت می‌باشد. همانند میکای دانه‌ریز، کلریت ممکن است دارای اسمکتیت و ورمی‌کولیت در بین لایه‌ها در یک بلور باشد. اندازه‌ی ذرات و اندازه‌ی سطح در کلریت در حدود میکای بافت ریز است. جذب آب در بین واحدهای بلور کلریت وجود ندارد، که در ارتباط با سرشت غیرقابل‌انبساط این کانی می‌باشد.

لایه‌های مخلوط و مطبق [1]

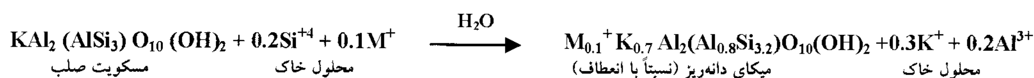
گروه‌های خاص کانی‌های رسی مستقل از همدیگر در خاک وجود ندارند. در یک خاک مشخص معمول این است که کانی‌های متعدد رسی در یک مخلوط یافت شوند به‌علاوه بعضی کانی‌های کلوییدی دارای خصوصیات و ترکیبات حد واسط بین دو کانی کاملاً مشخص که تا حال تشریح شد می‌باشند این کانی‌ها تحت عنوان لایه‌های مخلوط و یا مطبق نامیده می‌شوند، زیرا لایه‌های انفرادی در داخل یک کانی ممکن است بیش از یک نوع باشد. واژه‌گانی مانند کلریت – ورمی‌کولیت، و یا میکای دانه‌ریز – اسمکتیت برای تشریح کانی‌ها با لایه‌های مخلوط به‌کار می‌روند (شکل۹-۸)، در بعضی از خاک‌ها این کانی‌ها بسیار معمول‌تر از کانی‌های تک‌ساختمان مانند مونت‌موریلونیت می‌باشند.

۸-۶ تکوین کلوییدهای خاک

رس‌های سیلیکاتی

رس‌های سیلیکاتی حداقل به‌وسیله‌ی دو فرایند مشخص از هوادیدگی کانی‌های خیلی متفاوت ایجاد می‌شوند:
(۱)تغییر فیزیکی و شیمیایی [2] اندک در کانی‌های اولیه و (۲)تجزیه‌ی کانی‌های اولیه [3] و بلوری‌شدن مجدد مواد حاصل از تجزیه به‌صورت رس‌های سیلیکاتی، هر یک از این فرایندها مورد ملاحظه‌ی مختصر قرار خواهد گرفت.

تغییر و تبدیل : تغییراتی که در میکای مسکویت انجام گرفته تا به میکای دانه‌ریز تبدیل شود مثال خوبی از تغییر و تبدیل است. مسکویت یک کانی اولیه نوع ۲:۱ با ساختمان بلوری غیرانبساطی و فرمول $KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$ می‌باشد در صورت هوادیدگی کانی از نظر اندازه تخریب شده و به حد کلوییدی می‌رسد، بخشی از پتاسیم از دست رفته و مقداری سیلیس همراه با کاتیون‌های بازی، که به‌وسیله‌ی M^+ نشان داده شده‌اند از محلول در طول هوادیدگی افزوده می‌شود، حاصل نهایی یک ساختمان بلوری با انعطاف‌پذیری بیشتر و وجود بارهای آزاد منفی در محل‌های اشغال‌شده به‌وسیله‌ی K^+ می‌باشد. کلویید میکای حاصل هنوز دارای ساختمان نوع ۲:۱ می‌باشد که فقط در طول فرایند تغییر و تبدیل یافته است. بعضی از این تغییرات که شاید بیش از حد ساده شده‌اند در پایین نشان داده شده است.

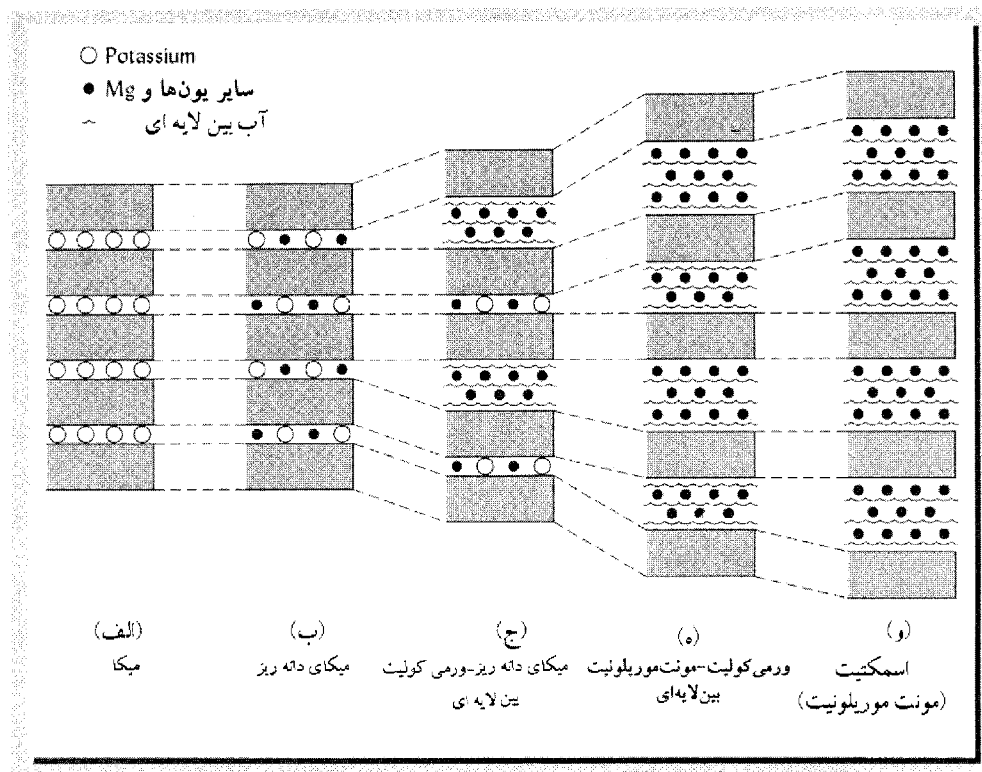


بلوری‌شدن مجدد: این فرایند شامل تجزیه‌ی کامل ساختمان بلوری و بلوری‌شدن دوباره کانی‌های رسی از محصولات این تجزیه است. این فرایند حاصل از هوادیدگی بسیار شدیدتر از فرایند تغییر و تبدیل است که هم‌اکنون گفته شد.

مثالی از بلوری‌شدن مجدد، تشکیل کائولینیت (کانی رسی نوع۱:۱) از محلول‌های حاوی آلومینیوم و سیلیس حاصل از تخریب کانی‌های اولیه [4] با ساختمان نوع۲:۱ می‌باشد. این دوباره بلوری‌شدن امکان تشکیل بیشتر از یک نوع رس را از یک کانی اولیه فراهم می‌سازد. کانی رسی تشکیل شده در ارتباط با شرایط هوادیدگی و یون‌های خاص حاضر در محلول هوادیدگی در هنگام بلوری‌شدن می‌باشد

مراحل نسبی هوادیدگی: شرایط خیلی اختصاصی که منجر به تشکیل انواع مهم کانی‌های رسی می‌شود در شکل۱۰-۸ نشان داده شده‌اند. توجه کنید که میکای دانه‌ریز و کلریت غنی از منیزیم مراحل اولیه‌ی هوادیدگی سیلیکات‌ها می‌باشند و کائولینیت و نهایتاً اکسیدهای آهن و آلومینیوم بیانگر پیشرفته‌ترین مراحل هوادیدگی می‌باشند. اسمکتیت (مونت‌موریلونیت) بیانگر مراحل حدواسط است، همان‌طورکه در فصل ۱-۲ اشاره گردید، سیلیس با پیشرفت هوادیدگی از بین رفته و در افق‌های خیلی هوادیده نسبت Si:Al پایین می‌آید.

1- Mixed and Interstratified layers
2- Physical&Chemical Alteration
3- Decomposition&recrystalization
4- Breakdown of primary minerals



شکل ۹-۸ اختلافات ساختمانی در بین کانی‌های سیلیکاتی و مخلوط‌های آن‌ها. میکاهای حاوی پتاسیم (الف) با ساختمان بلوری صلب بخشی از پتاسیم خود را از دست داده و به میکای دانه‌ریز، تبدیل می‌شود که کمتر صلب بوده و کاتیون‌های قابل تبادل را در فضای بین لایه‌ای جذب می‌کند (ب). در مراحل پیشرفته‌تر هوادیدگی (ج) پتاسیم از بین بعضی لایه‌های ۲:۱ آبشویی شده. آب و یون‌های منیزیم لایه‌ها را به‌هم پیوند داده و رس‌های مطبق بین لایه‌ای میکای دانه‌ریز- ورمی‌کولیت به‌وجود می‌آید. هوادیدگی فزون‌تر سبب ازبین‌رفتن پتاسیم بیشتر می‌شود. هوادیدگی بیشتر سبب ایجاد رس اسمکتیت (ه) می‌شود که کانی بسیار انبساط‌پذیری می‌باشد. اسمکتیت نیز به نوبه‌ی خود در معرض هوادیدگی قرار گرفته و به کائولینیت و اکسیدهای آهن و آلومینیوم تبدیل می‌شود. گرچه اکثر کانی‌های اسمکتیت در واقع به‌وسیله‌ی فرایندهای دیگر تشکیل می‌شوند، توالی مورد نظر در اینجا رابطه ساختمانی اسمکتیت را با سایر کانی‌ها تشریح می‌کند.

تکوین رس‌های سیلیکاتی انفرادی: فرایندهای مختلفی وجود دارند که طی آن‌ها رس‌های انفرادی تشکیل می‌شوند برای مثال میکای دانه‌ریز و کلریت معمولاً به‌ترتیب از تغییر و تبدیل میکاهای مسکویت و بیوتیت ایجاد می‌شوند. ورمی‌کولیت نیز می‌تواند طی همین فرایند ایجاد شود. گرچه آن‌ها و اسمکتیت‌ها می‌توانند محصولات حاصل از هوادیدگی میکای دانه‌ریز و کلریت باشند، اسمکتیت همچنین ممکن است از فرایند بلوری‌شدن مجدد تحت شرایط هوادیدگی خنثی و یا قلیایی حاصل شود. کائولینیت براثر تبلور مجدد تحت هوادیدگی نسبتاً شدید اسیدی، که سبب ازبین‌رفتن اکثر کاتیون‌های فلزی است، تشکیل می‌شود هوادیدگی شدید تحت شرایط گرم و مرطوب مناطق استوایی معمولاً سبب ایجاد اکسیدهای آهن و آلومینیوم می‌گردد (شکل ۱۰-۸).

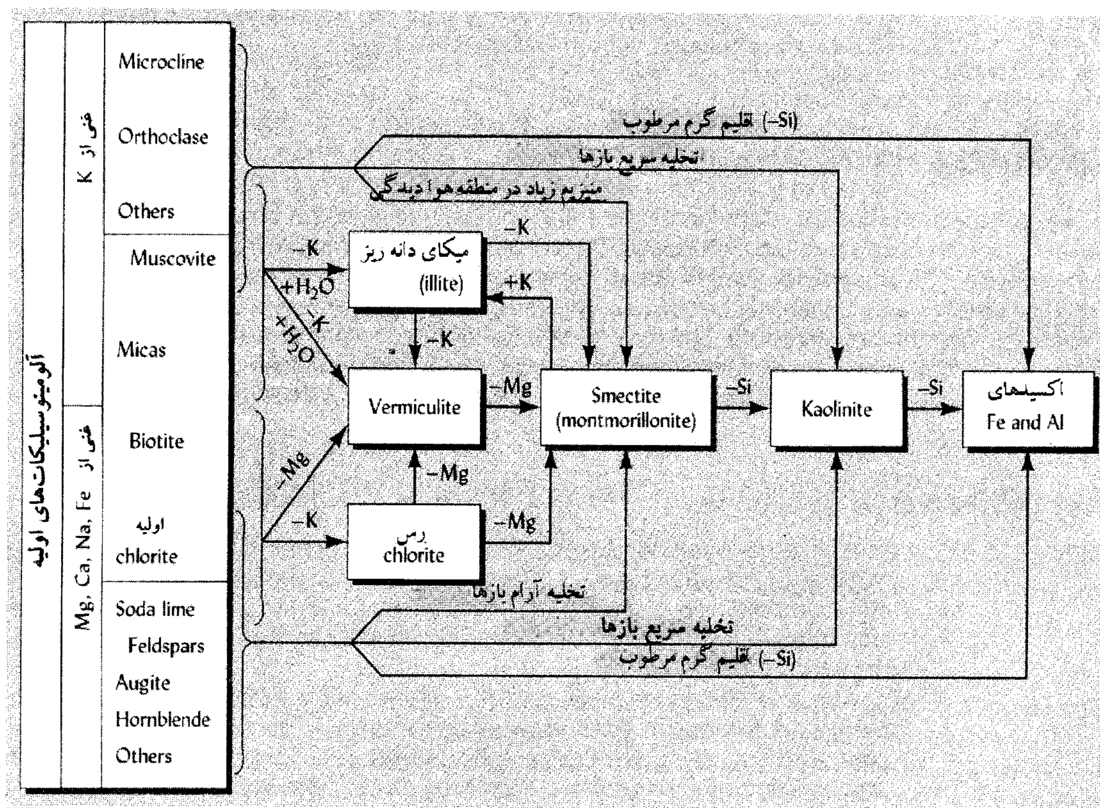
اکسیدهای[1] آهن و آلومینیوم

گوتیت[2] (FeOOH) و هماتیت[3] (Fe_2O_3) دو کانی بسیار معمول آهن در خاک‌ها می‌باشند آن‌ها حاصل هوادیدگی کانی‌های سیلیکاتی اولیه حاوی آهن می‌باشند. آهن معمولاً در ظرفیت پایین بوده که بعد از تخریب شبکه کانی آزاد گردیده، اما به‌سرعت اکسید شده و تشکیل آهن سه ظرفیتی خیلی نامحلول را می‌دهد. گوتیت در مناطق معتدل و مرطوب نیز غالب بوده درحالی‌که هماتیت با رنگ قرمز شدید در شرایط گرمسیری و خشک‌تر فراوان و حتی غالب می‌باشد.

[1]- Hydrous oxides
[2]- Goethite
[3]- Hematite

گیبسایت[1] $Al(OH)_3$ که معمول‌ترین اکسید آلومینیوم موجود در خاک‌ها می‌باشد حاصل هوادیدگی تعدادی از سیلیکات‌های آلومینیوم و سیلیس است. یون‌های هیدروژن به جای کاتیون‌های بازی نشسته، چهارچوب کانی فرو ریخته، آلومینیوم و سیلیس آزاد می‌شوند. آلومینیوم آزادشده از تخریب بعضی سنگ‌های بازی مانند گابرو، بازالت مستقیماً به‌صورت گیبسایت ته‌نشین می‌شود. هوادیدگی سنگ‌های اسیدی مانند گرانیت و نیس ابتدا تولید کائولینیت و هالوسیت کرده که سپس از هوادیدگی بیشتر گیبسایت حاصل می‌شود. گیبسایت بیانگر پیشرفته‌ترین مراحل هوادیدگی در خاک است.

جالب توجه است که اشاره کنیم جانشینی هم‌شکل Al^{3+} برای Fe^{3+} و بالعکس در میان اکسیدهای این عناصر صورت می‌گیرد. هرچند از آن‌جاکه Fe^{3+} و Al^{3+} دارای ظرفیت مساوی می‌باشند این جانشینی اثری بر روی میسل ندارد.



شکل ۱۰-۸ شرایط کلی برای تشکیل رس‌های لایه‌ای سیلیکاتی مختلف و اکسیدهای آهن و آلومینیوم. میکای دانه‌ریز، کلریت و ورمی‌کولیت در طی هوادیدگی کم از کانی‌های آلومینوسیلیکات اولیه تشکیل می‌شوند درصورتی‌که کائولینیت و اکسیدهای آهن و آلومینیوم حاصل هوادیدگی خیلی شدیدتر می‌باشند. شرایط هوادیدگی با شدت حد متوسط سبب ایجاد اسمکتیت می‌شود. در هر مورد، تکوین رس سیلیکاتی همراه با حذف عناصری مانند Ca, Na, K و Mg در محلول می‌باشد.

آلوفان[2] – ایموگلیت[3] :

دانش نسبتاً کمی در مورد عوامل مؤثر در تشکیل آلوفان و ایموگلیت موجود است به‌جز این‌که می‌دانیم آن‌ها معمولاً همراه مواد با منشاء آذرین بیرونی می‌باشند. آن‌ها همچنین از سنگ‌های آذرین به‌وجود آمده و در بعضی از اسپدوسول‌ها یافت می‌شوند. خاکسترهای آتشفشانی مقادیر قابل توجهی از Si(OH)x و Al(OH)x آزاد می‌کنند، که به‌صورت ماده بی‌شکل ژلاتینی (الوفان) در زمان نسبتاً اندکی رسوب می‌کنند. این کانی‌ها معمولاً دارای سرشت غیربلوری می‌باشند، گرچه ایموگلیت دارای سازمانی از ابعاد مساوی بوده وبه‌نظر می‌رسد که حاصل مرحله پیشرفته‌تری از هوادیدگی درمقایسه با آلوفان باشد.

1- Gibbsite
2- Allophane
3- Imogolite

هوموس[1]

تجزیه و تغییر پس‌مانده‌های گیاهی به‌وسیله‌ی زیواچه‌ها و بازسازی مجدد یک ترکیب آلی جدید پایدارتر در فرایند، سبب ایجـاد یـک ماده‌ی کلوییدی آلی سیاه رنگ به‌نام هموس می‌باشد (فصل ٤-١٢ را مطالعه کنید).

واحدهای ساختمانی آلی همراه با تجزیه و بازسازی سبب ایجاد محل‌های بار برای جذب کاتیون‌ها و آنیون‌ها می‌گردد.

٨-٧ توزیع جغرافیایی رس‌ها

رس در هر خاک به‌خصوص معمولاً از مخلوط کانی‌های کلوییدی مختلفی تشکیل شده است. در یک خاک مورد نظر مخلوط کلوییدی ممکن است افق به افق متغیر باشد. این مسأله به‌این دلیل صورت می‌پذیرد که نوع رس که تکامل می‌یابد نه‌تنها وابسته بـه تـأثیر اقلیـم و شرایط خاکرخ است، بلکه وابسته به سرشت ماده‌ی مادری نیز می‌باشد. موقعیت ممکن است با حضور رس در مـاده‌ای‌کـه در رژیـم‌هـای آب‌وهوایی قبلی کاملاً متفاوت ایجاد شده است بیشتر غامض گردد. هرچند انجام براوردهای کلی بر اساس روابط نشان داده در شکل ١٠-٨ امکان‌پذیر می‌باشد.

اختلافات در رده‌های خاک

جدول ٤-٨ نشان‌دهنده کانی‌های رس غالب در رده‌های مختلف خاک می‌باشد که شرح آن‌ها در فصل ٣ ارائه شده است. اکسی‌سول‌ها با هوادیدگی شدید و زهکشی خوب در مناطق گرمسیری مرطوب و نیمه‌مرطوب دارای کائولینیت همراه اکسیدهای آهن و آلومینیوم می‌باشند. این نوع رس‌ها در رده التی‌سول‌ها نیز، که عمدتاً در بخش جنوب شرق آمریکا قرار دارند به‌مقدار فراوان دیده می‌شوند.

گروه‌های رس‌های اسمکتیت، ورمی‌کولیت و میکای دانه‌ریز در خاک‌های الفی‌سول، مولی‌سول و ورتی‌سول که در آن‌ها هوادیدگی خیلی شدید نیست به‌مقدار فراوان یافت می‌شوند. این رس‌ها در بخش شمالی ایالات متحده، کانادا و مناطق با دماهای مشـابه آن‌هـا در سرتاسـر جهان معمول می‌باشند. وقتی ماده‌ی مادری از میکا غنی باشد، معمولاً میکای دانه‌ریز مانند ایلیت ایجاد خواهد شـد. مـواد مـادری غنـی از کاتیون‌های فلزی (به‌خصوص منیزیم) و یا دارای زهکشی ضعیف که از آبشویی این کاتیون‌ها ممانعت می‌کند، سبب ایجاد کانی اسـمکتیت می‌شود بنابراین به‌نظر می‌رسد میکای دانه‌ریز و اسمکتیت در خاک‌های اریدی‌سول به‌مراتب بیشتر از مناطق مرطوب‌تر یافت شوند.

تأثیر شدید مواد مادری در توزیع جغرافیایی رس‌ها را می‌توان در نوار سیاه ورتی‌سول‌های آلاباما، می‌سی‌سی‌پی و تگزاس مشاهده کـرد این خاک‌ها که دارای رنگ تیره هستند، از مواد مادری دریایی غنی از بازها تکامل یافته‌اند و رس‌های اسمکتیت در آن‌ها غالـب مـی‌باشـد خاک‌های اطراف آن‌ها که از مواد مادری مختلف دارای باز کمتر تشکیل شده‌اند از کائولینیت و اکسیدهای آبدار غنی می‌باشند. این رس‌هـا بیشتر معرف مناطق گرم و مرطوبند. شرایط مشابهی در هندوستان مرکزی و سودان موجود است.

گرچه چند جمع‌بندی کلی گسترده در ارتباط با توزیع جغرافیایی خاک‌ها امکان‌پذیر است، این نمونه‌ها مطرح می‌کنند که مـواد مـادری محلی و شرایط هوادیدگی، نوع کانی رسی را که در خاک‌ها یافت می‌شوند مشخص می‌کنند.

جدول٤-٨ وجود فراوان کانی‌های رسی در راسته‌های مختلف خاک در آمریکا و محل‌های نمونه برای این خاک‌ها

رده خاک	شـــدت هوادیدگی عمومی	موقعیت شاخص در آمریکا	اکسیدهای Fe-Al	کائولینیت	اسمکتیت	میکـــای دانه‌ریز	ورمی‌کولیت	کلریت	مخلوط
اریدی‌سول	اندک	مناطق خشک	––	–	××	××	–	×	×
ورتی‌سول	↑	آلاباما – تگزاس	––	–	×××	––	–	–	×
مولی‌سول		مرکزی	––	×	××	×	×	×	×
الفی‌سول		اوهایو – پنسیلوانیا – نیویورک	––	×	×	×	×	×	×
اسپدوسول		نیو انگلند	×	×	–	––		–	–
التی‌سول	↓	جنوب شرقی	××	×××	–	––	×	×	×
اکسی‌سول	زیاد	هاوایی – پرتریکو	××	×××	–	––	–	–	–

---

[1]- Humus

۸-۸ منابع بار بر روی کلوییدهای خاک

دو منبع عمده بار بر روی کلوییدهای خاک وجود دارد (۱) هیدراکسیل و سایر گروه‌های عامل بر روی سطوح ذرات کلوییدی است که با آزادکردن یا قبول ین H^+ می‌توانند سبب ایجاد بار مثبت یا منفی گردند.(۲) عدم تعادل بار حاصل از جانشینی هم‌شکل ین‌های هم اندازه اما دارای بار متفاوت بر روی ساختمان بعضی از بلورهای رس است.

تمام کلوییدها آلی و معدنی بارهای سطحی را در ارتباط با گروه‌های OH به نمایش می‌گذارند که عمدتاً وابسته به pH می‌باشند. اکثر بارهای همراه با هموس و رسهای ۱:۱، اکسیدهای آهن و آلومینیوم و آلوفان از این نوع می‌باشند. در مورد رس‌های ۲:۱، این بار سطحی به‌وسیله‌ی تعداد زیادتری از بارها براثر جانشینی هم‌شکل دو کاتیون تکمیل می‌شود. از آن‌جاکه این بارها وابسته به pH نمی‌باشند، به آن‌ها بارهای دایم و یا بار ثابت گفته می‌شود، ما ابتدا این بارهای ثابت را مورد بررسی قرار می‌دهیم. همان‌طورکه در بخش ٤-۸ گفته شد، این بارها هم می‌توانند مثبت و هم منفی باشند.

۹-۸ بارهای ثابت بر روی رس‌های سیلیکاتی

بار منفی خالص در کانی‌هایی یافت می‌شود که در آن‌ها جانشینی هم‌شکل ین‌ها با ظرفیت کم (مانند Mg^{2+}) به‌جای ین‌ها با ظرفیت بالا (مثلاً Al^{3+}) صورت گرفته باشد، این جانشینی معمولاً در صفحات دی‌اکتاهیدرال با غلبه آلومینیوم صورت می‌گیرد. همان‌طورکه در شکل ۱۱-۸ نشان داده شده است این جایگزینی سبب ایجاد یک بار منفی خنثی‌نشده می‌شود، جانشینی Mg^{2+} به‌جای Al^{3+} منبع مهّمی از بار منفی در کانی‌های رسی اسمکتیت، ورمی‌کولیت و کلریت می‌باشد.

نمونه دوّم جانشینی Al^{3+} به‌جای Si^{4+} در صفحه تتراهیدرال است، که آن نیز سبب ایجاد یک بار منفی خنثی نشده می‌گردد، این مسأله می‌تواند به‌صورت زیر با فرض دو اتم سیلیس همراه با ٤ اتم اکسیژن در یک واحد دارای بار خنثی مورد تشریح قرار گیرد.

Al^{3+} جانشین Si^{4+} شده است



یک بار منفی

صفحه تتراهیدرال بدون جانشینی



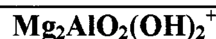
بدون بار

این جانشینی در چندین کانی رسی سیلیکاتی مهّم مانند میکای دانه‌ریز، ورمی‌کولیت و حتی اسمکتیت معمول می‌باشد.

بارهای مثبت

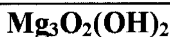
جانشینی هم‌شکل، درصورتی‌که ین جانشین شونده دارای ظرفیت بالاتری نسبت به ین جانشین شده باشد، می‌تواند منبعی برای بار مثبت باشد. در یک صفحه تری‌اکتاهیدرال، سه ین منیزیم به‌وسیله‌ی اکسیژن و گروه‌های هیدراکسیل احاطه شده‌اند و صفحه فاقد بار است اگر یک ین Al^{3+} جایگزین یک ین Mg^{2+} گردد، یک بار خالص مثبت ایجاد خواهد شد.

Al^{3+} به‌جای Mg^{+2}



یک بار مثبت اضافی

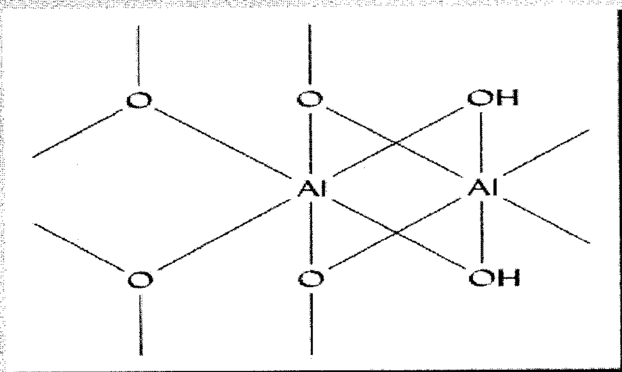
صفحه تری‌اکتاهیدرال بدون جانشینی



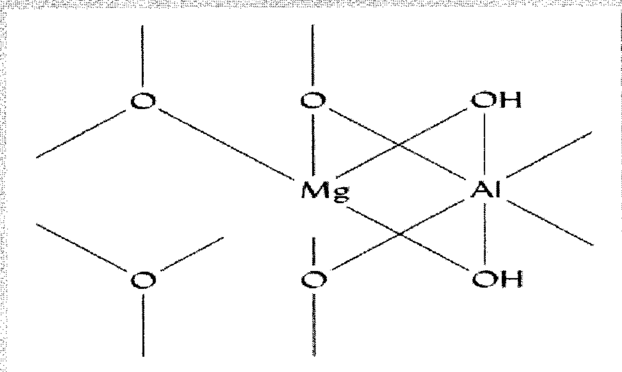
بدون بار

چنین بارهای مثبت خصوصیت صفحه تری‌اکتاهیدرال هیدراکسید بین‌لایه‌ای در بعضی از کانی‌های رسی مانند کلریت می‌باشد. باری که اضافه بر بار منفی صفحه تتراهیدرال می‌باشد. در حقیقت در بعضی از رس‌های سیلیکاتی ۲:۱ از جمله کلریت و اسمکتیت) جانشینی می‌تواند در هر دو صفحه اکتاهیدرال و تتراهیدرال صورت گیرد. خالص بار در این رس‌ها از تعادل بارهای مثبت و منفی بدست می‌آید. گرچه در تمام رس‌های سیلیکاتی ۲:۱ خالص بار منفی است، زیرا جانشینی که سبب ایجاد بار منفی شده است به‌مراتب بیشتر از آنهایی است که سبب ایجاد بار مثبت می‌شوند.

جانشینی هم‌شکل که هم‌اکنون تشریح شد در طی چرخه‌های هوادیدگی گذشته به آرامی صورت گرفته و به‌آسانی درمعرض تغییر نمی‌باشد بنابراین این بارها تحت واژه ثابت و یا دایمی نامیده شده زیرا مربوط به‌ترکیب شیمیایی رس‌های سیلیکاتی می‌باشند.



الف) بدون جانشینی



ب) با جانشینی
Mg^{2+} به‌جای Al^{3+}

شکل۱۱-۸ نمایش اتمی در صفحه اکتاهیدرال در رس سیلیکاتی (الف) بدون جانشینی (ب) با یک ین منیزیم جایگزین شده به‌جای یک ین آلومینیوم. وقتی جانشینی انجام نشده است سه بار مثبت آلومینیوم به‌وسیله‌ی ۳ بار منفی ٦ گروه اکسیژن و یا هیدراکسیل خنثی می‌شود. درصورت جایگزینی منیزیم به‌جای آلومینیوم، فقط دو بار منفی متعادل گردیده است و یک بار منفی خنثی نشده باقی می‌ماند که با جذب یک کاتیون می‌تواند خنثی شود.

ترکیب شیمیایی و بار الکتریکی

به‌دلیل جانشینی یُنی متعدد، که هم‌اکنون مورد بحث قرار گرفت، فرمول‌های ساده شیمیایی برای تشخیص رس به‌طور خاص قابل استفاده نمی‌باشند. هرچند فرمول‌های نمونه برای رس‌های سیلیکاتی عمده که در جدول ۵-۸ نشان داده شده است می‌توانند برای تشریح منابع بار مثبت و منفی در صفحات چهاروجهی و ۸ وجهی مورد استفاده قرار گیرند. به این فرمول‌ها به‌طور معمول فرمول‌های ساختمانی و یا واحد لایه‌ای[1] گفته می‌شود.

توجه کنید در جدول ۵-۸ جانشینی یُنی برای کائولینیت دیده نمی‌شود گرچه گاهی از این جانشینی‌ها وجود دارد. بیشتر بار منفی در این کلویید به‌وسیله‌ی گروه OH تأمین می‌گردد. تمام کانی‌های دیگر رس که در جدول ۵-۸ نشان داده شده‌اند، بار خود را (منفی و/ یا مثبت) مدیون جانشینی هم‌شکل می‌باشند. این جدول باید برای مشخص‌کردن منابع بار، و همچنین بار خالص بر روی میسل از کانی‌های در فهرست آمده مورد مطالعه قرار گیرد.

۱۰-۸ بار وابسته به pH

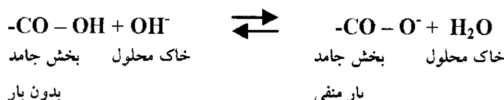
منبع دیگری برای بار در روی بعضی از رس‌های سیلیکاتی (مانند کائولینیت)، هموس، آلوفان و هیدراکسیدهای آهن و آلومینیوم وجود دارد. به‌خاطر این‌که بارها وابسته به pH خاک است، به آن‌ها بار متغییر و یا بار وابسته به pH می‌گویند. هم بار مثبت و هم بار منفی از این منبع تأمین می‌شود.

[1]- Unit layer formulae , Structuraf formulae

بار منفی

بارهای وابسته به pH عمدتاً همراه با گروه‌های هیدراکسیل (OH) بر روی لبه وسطح کلوییدهای آلی و معدنی می‌باشد (شکل۱۲-۸). گروه OH به آهن و/ یا آلومینیوم در کلوییدهای معدنی (برای نمونهAl-OH <) و به کربن در گروه CO در هموس مانند (-CO-OH) چسبیده‌اند. تحت شرایط اسیدی متوسط باری برروی این ذرات یا وجود ندارد و یا کم است، امّا با افزایش pH، ین هیدروژن از یـن هیدراکسیل کلویید جدا می‌شود و بار منفی حاصل می‌شود:





همان‌طورکه به‌وسیله‌ی پیکان‌ها (⇄) مشخص شده، واکنش‌ها قابل برگشت است. اگر pH افزایش یابدOH^- بیشتری برای راندن واکنش به‌سمت راست وجود خواهد داشت و بار منفی بر روی ذره رسی افزایش خواهد یافت. اگر pH پایین آورده شود غلظت یـن OH^- کاهش پیدا کرده و واکنش به سمت چپ بر خواهد گشت و بار منفی کاهش خواهد یافت. مشاهده وابستگی بار به pH در این کلوییدها آسان است.

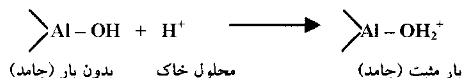
منبع دیگر برای افزایش بار منفی در اثر افزایش pH برداشت بار مثبت همتافت هیدراکسید آلومینیوم ($Al(OH)_2^+$) است. در pH پایین ایـن ین‌ها محل‌های منفی را در روی رس‌های سیلیکاتی پوشانده (نمونه ورمی‌کولیت) و آن‌ها را از تبادل کاتیونی باز می‌دارند با بالا رفتن pH، ین‌های $AL(OH)_2^+$ با OH در محلول خاک برای تشکیل $AL(OH)_3$ وارد واکنش شده و سبب آزادشدن محل بارهای منفی می‌شوند.



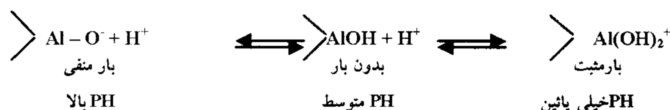
این سازوکار افزایش بار منفی دارای اهمیت ویژه‌ای در خاک‌های غنی از هیدراکسیدهای آهن و آلومینیوم، همانند آن‌ها که در جنـوب شرق آمریکا و مناطق حاره‌ای بافت می‌شوند.

بار مثبت

تحت شرایط متوسط تا شدید اسیدی، ممکن است بعضی از رس‌های سیلیکاتی، هیدراکسیدهای آهن و آلومینیوم بار مثبت را به نمـایش بگذارند. در این فرایند گروه‌های OH آشکار شده دخیل می‌باشند. در این حالت با اسیدی شدن بیشتر خاک اتصال یـن‌هـای H^+ بـه منبـع گروه‌های OH صورت می‌پذیرد (پروتونی‌شدن). ممکن است واکنش برای رس‌های سیلیکاتی به‌صورت زیر نشان داده شود.



بنابراین، در بعضی موارد همان محل در روی کلویید معدنی ممکن است مسئول بار منفی (pH بالا) بدون بار (pH متوسـط) و یـا بـار مثبت (pH خیلی پایین باشد). واکنش هنگامی که pH یک خاک خیلی قلیایی کاهش می‌یابد ممکن است به‌صورت زیر تشریح گردد.



از آن‌جاکه مخلوط خاک متشکل از هموس و کلوییدهای متعدد معدنی معمول است، شگفت‌انگیز نخواهد بود که بارهای مثبت و منفـی همزمان در خاک به نمایش گذاشته شوند. در بیشتر خاک‌های مناطق معتدل میزان بار منفی به‌مراتب بیشتر از بار مثبت اسـت (جـدول۶-۸). هرچند در بعضی از خاک‌های اسیدی (مناطق حاره‌ای) دارای هیدراکسیدهای آهن و آلومینیوم زیاد یا آلوفان بار کلی خالص کلویید ممکن است مثبت باشد. اثر pH خاک بر بارهای مثبت و منفی در این خاک‌ها در شکل ۱۳-۸ تشریح شده است.

خصوصیات بار برای کلوییدهای انتخاب شده خاک‌ها در جدول ٦–٨ نشان داده شده است. به درصد بالای بار منفی ثابت در بعضی رس‌های ۲:۱ (برای نمونه اسمکتیت و ورمی‌کولیت) توجه کنید. هموس، کائولینیت، آلوفان و اکسیدهای آهن و آلومینیوم عمدتاً دارای بار متغییر (بار وابسته به pH) منفی داشته و در pH خیلی پایین بار مثبت نسبتاً اندکی را نشان می‌دهند.

جذب کاتیون و آنیون

بارهای همراه با ذرات خاک سبب جذب یون‌های ساده و همتافت با بار مخالف می‌شود. بنابراین ممکن است یک مخلوط کلوییدی نه‌تنها دارای بارهای مثبت و منفی سطحی در هر پیچ‌وخم باشد، بلکه همین‌طور دارای گروه‌های همتافت و ساده از کاتیون‌ها و آنیون‌های مانند Ca^{2+} و SO_4^{2-} باشد که به‌وسیله‌ی بار ذره جذب شده است. شکل ١٤–٨ نشان می‌دهد که چگونه کلوییدهای خاک عناصر معدنی چنان مهّم برای جذب گیاهان را جذب[1] می‌کنند. آنیون‌های جذب‌شده معمولاً در مقادیر کمتری نسبت به کاتیون‌ها حضور دارند زیرا بار منفی اغلب در کلوییدهای خاک به‌خصوص در خاک‌های مناطق معتدل غالب می‌باشد. در خاک‌های بیشتر هوادیده اسیدی در گرمسیر، که رس‌های ۱:۱ و اکسیدهای Al و Fe غالب می‌باشند، تبادل آنیونی نسبتاً بیشتر است.

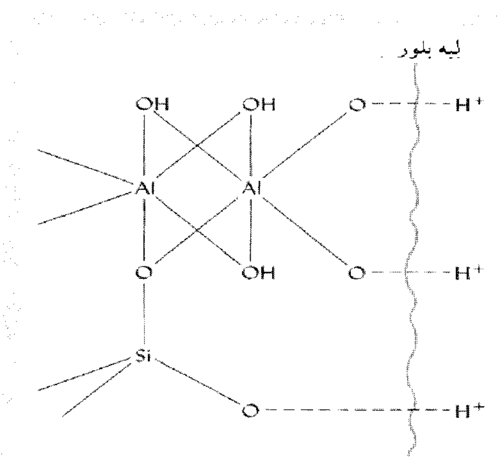
حال به ملاحظه تبادل یون‌ها در بین میسل و محلول خاک پرداخته و مسأله را اول با تبادل کاتیونی آغاز می‌کنیم.

جدول٥–٨ فرمول واحد لایه‌ای نمونه برای چند نوع رس و دیگر کانی‌های سیلیکاتی نشان‌دهنده‌ی کاتیون‌های ٤ وجهی و ٨وجهی، و همین‌طور آنیون‌های همراه، بار در واحد فرمول، اجزای ثابت و قابل‌تعویض بین‌لایه‌ای (توجه کنید بار در واحد فرمول جمع بار در صفحه‌های ترا و اکتا هیدرال است. این بارهای منفی با بارهای مثبت در بین لایه‌ها به تعادل رسیده است)

کانی	صفحه‌ی ترا هیدرال	صفحه‌ی ترا هیدرال	آنیون‌های همراه	باردرواحد فرمول	اجزا بین لایه ای	
					ثابت	*قابل تبادل
کانی‌های ۱:۱						
کائولینیت(دی‌اکتاهیدرال)	Al_2	Si_2	$O_5(OH)_4$	0	–	–
سرپنتین(تری‌اکتاهیدرال)	Mg_3	Si_2	$O_5(OH)_4$	0	–	–
کانی‌های دی‌اکتاهیدرال ۲:۱						
پیروفیلیت	Al_2	Si_4	$O_{10}(OH)_2$	0	–	–
مونت‌موریلونیت	$Al_{1.7}Mg_{0.3}$ -0.3	$Si_{3.9}$ و $Al_{0.1}$ -0.1	$O_{10}(OH)_2$	-0.4	–	$M_{0.4}^{+}$
بیدیلیت	Al_2	$Si_{3.6}$ و $Al_{0.4}$ -0.4	$O_{10}(OH)_2$	-0.4	–	$M_{0.4}^{+}$
نانترونیت	Fe_2	$Si_{3.6}$ و $Al_{0.4}$ -0.4	$O_{10}(OH)_2$	-0.4	–	$M_{0.4}^{+}$
ورمی‌کولیت	$Al_{1.7}Mg_{0.3}$ -0.3	$Si_{3.6}$ و $Al_{0.4}$ -0.4	$O_{10}(OH)_2$	-0.7	XH_2O	$M_{0.7}^{+}$
میکای ریز(ایلیت)	Al_2	$si_{3.2}$ و $Al_{0.8}$ -0.8	$O_{10}(OH)_2$	-0.8	$K^{+}_{0.7}$	$M_{0.1}^{+}$
مسکویت	Al_2	Si_3Al -1.0	$O_{10}(OH)_2$	-1	K^+	–
کانی‌های تری‌اکتاهیدرال ۲:۱						
تالک	Mg_3	Si_4	$O_{10}(OH)_2$	0	–	–
ورمی‌کولیت	$Mg_{2.7}Fe^{3+}_{0.3}$ +0.3	Si_3Al -1.0	$O_{10}(OH)_2$	-0.7	XH_2O	$M_{0.7}^{+}$
کانی تری‌اکتاهیدرال ۲:۱:۱						
کلریت	$Mg_{2.6}\ Fe_{0.4}^{+3}$ +0.4	$Si_{2.5}(Al\text{-}Fe)_{1.5}$ -1.5	$O_{10}(OH)_2$	-1.1	$Mg_2Al(OH)_6^{+}$	$M_{0.1}^{+}$

* کاتیون‌ها قابل تبادل مانند Ca^{2+} و Mg^{2+} و H^+ به‌وسیله‌ی ین M^+ نشان داده شده است.

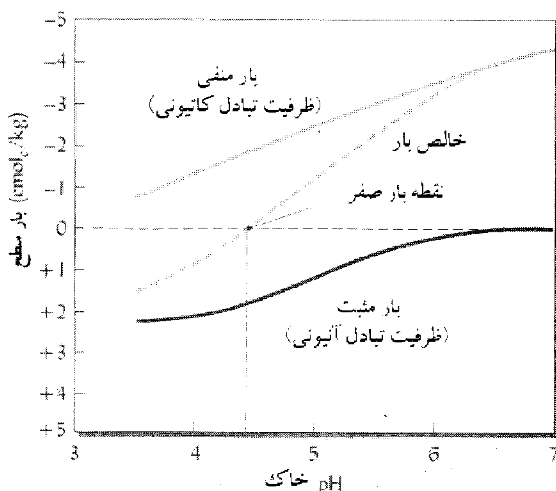
[1] - علاوه بر کاتیون‌ها و آنیونهای معدنی همین‌طور همتافت‌های آلی و معدنی باردار به‌وسیله‌ی کلوییدهای باردار خاک جذب می‌شوند



شکل ۱۲-۸ نمودار یک لبه‌ی شکسته از بلور کائولینیت که نشان‌دهنده اکسیژن به‌عنوان منبع بار منفی می‌باشد. در pH بالا اتم‌های H به سستی نگهداری شده و می‌توانند با بقیه‌ی کاتیون‌ها مورد تبادل قرار گیرند.

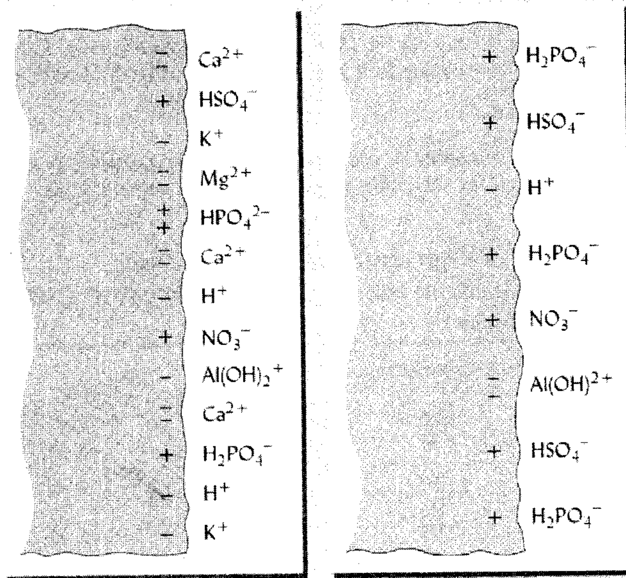
جدول ٦-٨ خصوصیات بار کلوییدهای معرف نشان‌دهنده میزان نسبی بار دایم (ثابت) و بار منفی و مثبت وابسته به pH

نوع کلویید	بار منفی			بارمثبت
	کل بار در pH مساوی هفت سانتی‌مول در کیلوگرم	ثابت ٪	وابسته‌به pH ٪	سانتی‌مول در کیلوگرم
آلی	۲۰۰	۱۰	۹۰	۰
اسمکتیت	۱۰۰	۹۵	۵	۰
ورمی‌کولیت	۱۵۰	۹۵	۵	۰
میکای بافت ریز	۳۰	۸۰	۲۰	۰
کلریت	۳۰	۸۰	۲۰	۰
کائولینیت	۸	۵	۹۵	۲
گیبسایت Al	٤	۰	۱۰۰	۵
گوتیت Fe	٤	۰	۱۰۰	۵
آلوفان	۳۰	۱۰	۹۰	۱۵



شکل۱۳-۸ رابطه‌ی بین pH خاک و بارهای مثبت و منفی روی افق‌های سطحی خاک اکسی‌سول در مالزی. با افزایش pH خاک بار منفی (ظرفیت تبادل کاتیونی) افزایش و بار مثبت (ظرفیت تبادل آنیونی) کاهش می‌یابد. pH نقطه بار صفر[1] حدود ٤/٤ است.

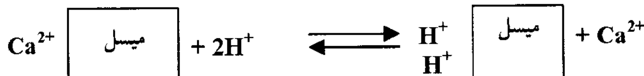
[1] - Point of zero charge



شکل ۱٤-۸ تشریح کاتیون‌ها و آنیون‌های جذب شده در یک خاک اسیدی با (الف) یک رس سیلیکاتی ۱:۱ و (ب) ذرات اکسید آهن و آلومینیوم. به غالبیت بارهای منفی بر روی رس سیلیکاتی، و بارهای مثبت بر روی ذرات آهن و آلومینیوم، توجه کنید.

۸-۱۱ تبادل کاتیونی

در فصل ۳-۸ نشان داده شد که کاتیون‌های مختلف جذب شده به‌وسیله‌ی همتافت جذبی[1] می‌توانند به‌وسیله‌ی دیگر کاتیون‌ها در فرایندی به‌نام تبادل کاتیونی جایگزین شوند. برای مثال یون‌های هیدروژن که با تجزیه‌ی ماده‌ی آلی ایجاد می‌شوند (فصل ٦-۹ را مشاهده کنند) می‌توانند کلسیم و سایر کاتیون‌های فلزی را از همتافت کلوییدی جابه‌جا کنند. این فرایند می‌تواند به‌شکل زیر که فقط یک کلسیم جذب شده جایگزین می‌شود نشان داده شود.

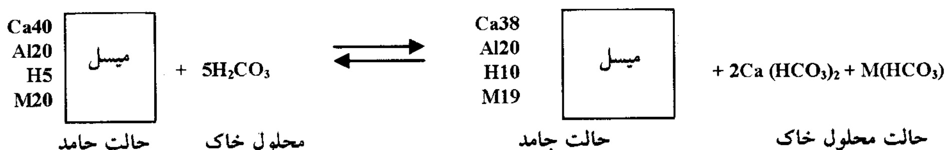


واکنش به‌سرعت انجام می‌پذیرد و مبادله کلسیم و هیدروژن از نظر شیمیایی به‌صورت بار متعادل می‌باشد. همان‌طورکه با جفت پیکان (⇄) نشان داده شده است، واکنش قابل برگشت است و اگر کلسیم اضافه شود به چپ بر می‌گردد.

تبادل کاتیونی در تحت شرایط طبیعی

همان‌طورکه در خاک‌های سطحی مناطق معتدل صورت می‌گیرد، واکنش تبادل یونی مقداری پیچیده‌تر، امّا اصول تشریح شده در مبادله‌ی ساده قابل کاربرد است. به‌خاطر سادگی فرض کنید که تعداد Ca^{2+}، Al^{3+} و H^+ و دیگر کاتیون‌های فلزی مانند Mg^{2+} و K^+ (به‌وسیله‌ی M^+ مشخص می‌شوند) به نسبت ٤۰، ۲۰، ۵ و ۲۰ به‌ترتیب در میسل باشند. (کاتیون‌های فلزی معرفی شده به‌وسیله‌ی M^+ در این مثال یک ظرفیتی در نظر گرفته می‌شوند)

هیدروژن اسید کربنیک با میسل مطابق زیر واکنش انجام خواهد داد :



---

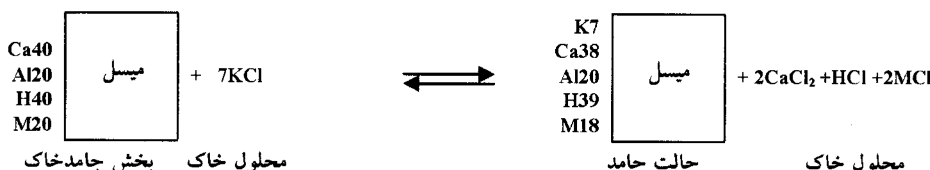
[1] — Exchange complex این واژه تمام کلوییدهای آلی و معدنی خاک را که قادر به نگهداری و تبادل کاتیونی می‌باشند در بر می‌گیرد

وقتی بارندگی کافی برای آبشویی کلسیم و دیگر کاتیون‌های فلزی موجود باشد، واکنش تمایل دارد که به سمت راست رفته و خاک تمایل دارد که بیشتر اسیدی شود. در مناطق کم‌باران کلسیم و دیگر نمک‌ها فراوانند، زیرا به‌آسانی از خاک آب‌شویی نخواهند شد. یون‌های فلزی واکنش را به سمت چپ کشانده و pH خاک را در ۷ و یا بالاتر نگاه می‌دارند. به‌علاوه مقداری از کلسیم به‌صورت $CaCO_3$ به‌خصوص در خاک تحت‌الارضی در مرز پایین نفوذ باران رسوب خواهد کرد. اثرات متقابل اقلیم، فرایندهای زیستی و تبادل کاتیونی در تعیین خصوصیات شیمیایی خاک‌ها به‌ما کمک می‌کنند.

تأثیر آهک و کودهای شیمیایی

واکنش‌های تبادل یونی قابل برگشت می‌باشند. اگر مقداری ترکیب بازی کلسیم مانند آهک به یک خاک اسیدی اضافه شود، واکنش قبلی به سمت چپ بر خواهد گشت. یون‌های کلسیم جایگزین هیدروژن و دیگر کاتیون‌ها خواهند شد. یون‌های H^+ محلول به‌وسیله‌ی OH^- و یا CO_3^{2-} خنثی خواهند شد و pH خاک بالا خواهد رفت. از طرف دیگر، اگر مواد شیمیایی تولیدکننده اسید مانند گوگرد به یک خاک قلیایی در منطقه‌ی خشک اضافه شود یون‌های H^+ جایگزین کاتیون‌های فلزی بر روی کلویید خاک شده و pH کاهش خواهد یافت.

تشریح هرچه بیشتر تبادل کاتیونی، شرح واکنشی است که درهنگام مصرف کودهای شیمیایی حامل کلرور پتاسیم درخاک رخ می‌دهد.



پتاسیم اضافه‌شده جذب سطح کلوییدشده و مقدار متعادل از کلسیم، هیدروژن و سایر کاتیون‌ها را که در محلول خاک دیده می‌شود از کلویید خارج می‌سازد. پتاسیم جذب شده عمدتاً در شرایط قابل استفاده باقی می‌ماند. اما کمتر از اکثر نمک‌ها در کودهای شیمیایی در معرض آبشویی قرار می‌گیرد. بنابراین، تبادل کاتیونی نه‌تنها برای مواد غذایی که قبلاً در خاک بوده‌اند بلکه برای مواد غذایی به‌کار رفته در کود دامی، پس‌مانده‌های گیاهی و یا کود شیمیایی مساله‌ی قابل‌ملاحظه‌ای می‌باشد.

۸-۱۲ ظرفیت تبادل کاتیونی CEC [1]

بخش‌های قبل به‌طور کیفی با مسأله تبادل ارتباط داشته است. حال به ملاحظه کمی تبادل کاتیونی و یا ظرفیت تبادل کاتیونی CEC بر می‌گردیم. این خصوصیت، که به‌طور ساده به‌صورت «جمع کلی کاتیون‌های قابل اندازه‌گیری که یک خاک می‌تواند جذب کند» تعریف می‌شود به آسانی قابل‌تعیین است. در روش استاندارد تمام کاتیون‌های جذب شده یک خاک به‌وسیله‌ی یک ین معمول مانند باریم، پتاسیم و یا آمونیوم جایگزین شده، سپس مقدار باریم، پتاسیم و یا آمونیوم جذب شده اندازه‌گیری می‌شود (شکل ۱۵-۸).

روش‌های بیان[2] CEC

ظرفیت تبادل کاتیونی برحسب مقدار مول بارهای مثبت جذب شده در واحد جرم تعریف می‌شود. برای سهولت بیان CEC، از سانتی‌مول بار مثبت در یک کیلوگرم خاک ($Cmol_c/Kg$) استفاده می‌کنیم. بنابراین اگر یک خاک دارای ظرفیت تبادل کاتیونی ۱۰ سانتی‌مول باشد، یک کیلوگرم از این خاک می‌تواند ۱۰ سانتی‌مول از H^+ جذب نموده و می‌تواند آن‌را با ۱۰ سانتی‌مول از کاتیون یک ظرفیتی دیگر مانند Na^+ و K^+ و یا ۵ سانتی‌مول از کاتیون دو ظرفیتی مانند Ca^{2+} و یا Mg^{2+} مبادله کند. در هر حالت ۱۰ سانتی‌مول بار منفی همراه با ۱ کیلوگرم خاک ۱۰ سانتی‌مول از بار مثبت را چه از $Al^{3+}, Mg^{2+}, Ca^{2+}, NH_4^+, Na^+, K^+, H^+$ و یا هر کاتیون دیگری جذب می‌کند.

ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌ها

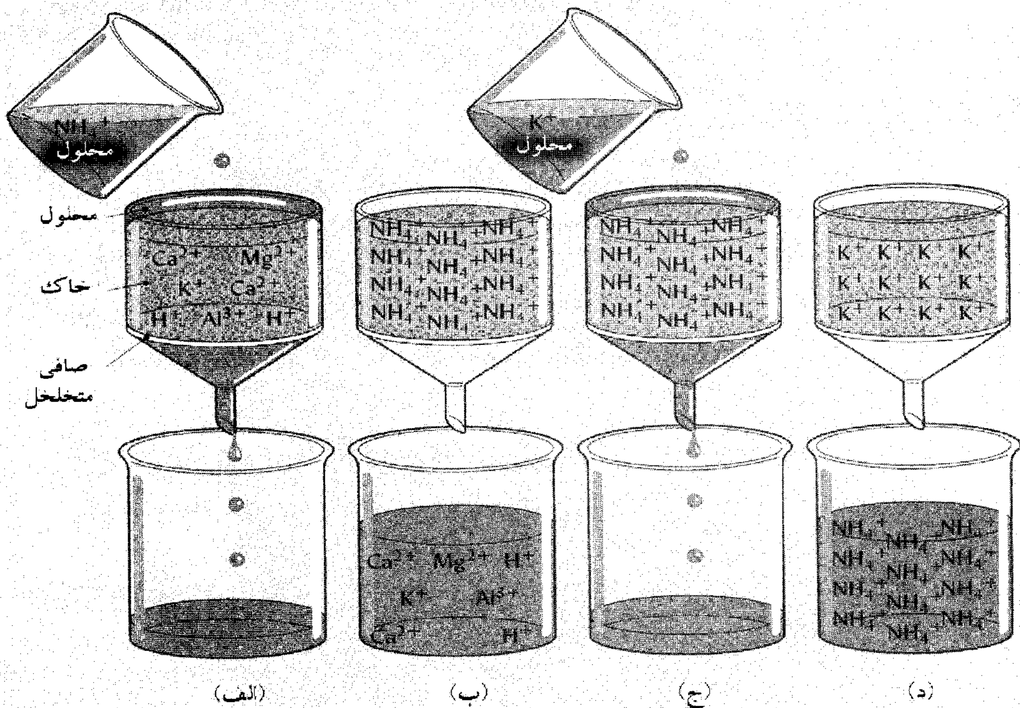
ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) در یک خاک مورد نظر به‌وسیله‌ی مقدار نسبی کلوییدهای مختلف در آن خاک و مقدار CEC هر کدام از آن‌ها تعیین می‌شود. شکل ۱۶-۸ دامنه‌ی معمول CEC را در بین خاک‌های مختلف و دیگر مواد آلی و معدنی تبادل‌کننده تشریح می‌کند.

---

[1]- Cation Exchange Capacity

[2] - قبلاً CEC اغلب بر حسب میلی‌والانس گرم در ۱۰۰ گرم خاک بیان می‌شد. در این کتاب در سیستم SI بر حسب سانتی‌مول بار مثبت در کیلوگرم خاک بیان می‌شود. خوشبختانه دو واحد مساوی بوده و مقایسه اطلاعات خاک‌هایی که از این دو نظام استفاده کرده است آسان می‌باشد.

توجه کنید که خاک‌های شنی که معمولاً از نظر کل مواد کلوییدی فقیرند، درمقایسه با خاک‌های لوم سیلتی و لوم رسی دارای CEC کمتری می‌باشند. همچنین به CEC کلویید هموس در مقایسه با رس‌های معدنی به‌ویژه کائولینیت و اکسیدهای آهن و آلومینیوم توجه کنید: CEC حاصل از هموس نقشی بارز و بعضی مواقع غالب در واکنش‌های تبادل کاتیونی در خاک ایفا می‌کند. برای نمونه در یک التی‌سول رسی (pH مساوی ۵/۵) که دارای ۲/۵ درصد هموس و ۳۰ درصد کائولینیت می‌باشد حدود ۷۵ درصد CEC ناشی از هموس است، حتی در خاک‌های خیلی اسیدی التی‌سول که بار وابسته به pH بر روی هموس و کائولینیت نسبتاً پایین است، هموس در همتافت تبادل کاتیونی غالب می‌باشد، و بدین‌صورت اهمیت حیاتی ماده‌ی آلی در خاک قابل‌تشریح است.



شکل ۱۵-۸ تشریح روشی برای تعیین ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک‌ها. (الف) یک نمونه از خاک که دارای کاتیون‌های قابل‌تبادل متعددی است به‌وسیله‌ی محلول نمک آمونیوم (NH_4^+) آبشویی می‌شود. (ب) یون‌های NH_4^+ جایگزین کاتیون‌های دیگر جذب شده گردیده و آن‌ها به‌داخل ظرف زیر خود آبشویی می‌شوند (ج) اضافی یون‌های NH_4^+ در محلول به‌وسیله‌ی حلال‌های آلی مانند الکل حذف گردیده و محلول یک نمک K^+ برای جایگزینی و آبشویی یون‌های NH_4^+ کلویید به‌کار برده می‌شود. (د) مقدار NH_4^+ آزاد شده و آبشویی یافته به‌داخل ظرف پایینی می‌تواند معلوم گردد و آن معادل (هم والانس) شیمیایی ظرفیت تبادل کاتیونی (بار منفی بر روی کلویید) می‌باشد.

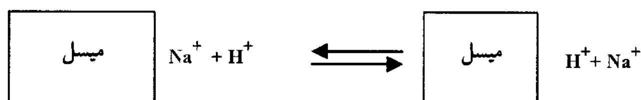
با استفاده از دامنه CEC در شکل ۱۶-۸ امکان برآورد CEC یک خاک با دانستن مقدار کلوییدهای مختلف آن خاک امکان‌پذیر می‌باشد. تابلو ۲-۸ چگونگی انجام این برآورد را نشان می‌دهد.

اطلاعات جدول ۷-۸ مقادیر CEC متوسط برای/ ۹ راسته‌ی مختلف خاک را که به‌وسیله‌ی سرویس حفاظت خاک آمریکا تعیین شده است مشخص می‌سازد، توجه داشته باشید که CEC زیاد خاک‌های هیستوسول بیانگر CEC بالای کلوییدهای آلی است. ورتی‌سول‌ها که دارای رس‌های انبساط‌پذیر زیاد می‌باشند (عمدتاً اسمکتیت‌ها) دارای بالاترین CEC متوسط در بین خاک‌های معدنی هستند. در مرحله‌ی بعدی خاک‌های اریدی‌سول و مولی‌سول قرار دارند که معمولاً مقدار رس‌های ۲:۱ در آن‌ها زیاد است. التی‌سول‌ها که رس آن‌ها عمدتاً کائولینیت و اکسیدهای آهن و آلومینیوم است دارای CEC نسبتاً پایینی می‌باشند. انتی‌سول‌ها و انسپتی‌سول‌ها شامل خاک‌های تکامل‌یافته بر روی آبرفت‌های جدید و مواد دریاچه‌ای بوده که از رس زیادی برخوردارند. به‌رغم تغییرات زیاد در مقدار مواد آلی و بافت این خاک‌ها این اطلاعات بیانگر مقدار و نوع کلوییدهای موجود در خاک می‌باشد.

تابلو ۱–۸ بیان شیمیایی تبادل کاتیونی

یک مول از هر اتم، مولکول و یا بار به‌صورت ۶/۰۲×۱۰^۲۳ (عدد آواگادرو) اتم، مولکول و یا بار بیان می‌شود. بنابراین ۶/۰۲×۱۰^۲۳ بار منفی با همتافت کلوییدی خاک یک مول از بار مثبت را از کاتیون‌های مانند H^+, Mg^{2+}, Ca^{2+} جذب می‌کند. تعداد مول‌های بار مثبت که به‌وسیله‌ی کاتیون‌های جذب شده در هر خاک عرضه می‌شود معیاری از ظرفیت تبادل کاتیونی آن خاک (CEC) می‌باشد.CEC خاک‌ها معمولاً از ۰/۰۳ تا ۰/۵ مول بار مثبت در هر کیلوگرم، متفاوتست، و برحسب سانتی‌مول درکیلوگرم CEC خاک‌ها در دامنه ۳ تا ۵۰ می‌باشد.

محاسبه‌ی جرم از مول : با استفاده از مفهوم مول می‌توان به آسانی تعداد مول بار را با جرم یون‌ها و یا ترکیبات موجود در تبادل آنیونی ارتباط داد برای مثال فرض کنید که تبادل با جایگزینی یون‌های سدیم جذب شده در خاک‌های قلیایی منطقه‌ی خشک با هیدروژن به‌صورت زیر صورت گرفته باشد.

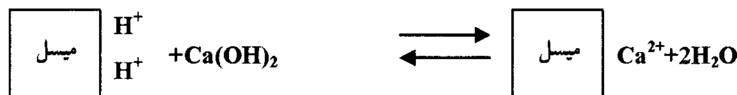


اگر ۲ سانتی‌مول از یون‌های جذب‌شده Na^+ در هر کیلوگرم خاک با H^+ در این واکنش جایگزین شده باشد چند گرم Na^+ جایگزین شده است از آن‌جاکه سدیم دارای یک بار مثبت است، جرم Na^+ برای ایجاد ۱ مول بار وزن اتمی سدیم بر حسب گرم یا ۲۳ می‌باشد. جرم ایجادکننده ۱ سانتی‌مول بار ۱/۱۰۰ این مقدار یا ۰/۲۳ گرم سدیم است بنابراین ۲ سانتی‌مول سدیم جایگزین شده از ۱ کیلوگرم خاک عبارتست از

$$\frac{\text{۲سانتی‌مول سدیم}}{\text{کیلوگرم خاک}} \times \frac{\text{۰/۲۳ } Na^+ \text{ گرم}}{\text{سانتی‌مول}} = \frac{\text{۰/۴۶}Na^+ \text{ گرم}}{\text{کیلوگرم خاک}}$$

۰/۴۶ گرم سدیم به‌وسیله‌ی ۰/۰۲ گرم هیدروژن که ۲ سانتی‌مول از این عنصر بسیار سبک‌تر است، جایگزین می‌شود.

مثال دیگر، جایگزینی یون H^+ هنگام اضافه‌کردن آهک $Ca(OH)_2$ به خاک‌های اسیدی است. فرض کنید ٤ سانتی‌مول H^+ در هر کیلوگرم خاک به‌وسیله‌ی $Ca(OH)_2$ طبق رابطه زیر جایگزین شده باشد



از آن‌جاکه یون Ca^{2+} در هر مولکول $Ca(OH)_2$ دارای دو بار مثبت است جرم $Ca(OH)_2$ برای جایگزینی ۱ مول از یون H^+ نصف جرم مولکولی این ترکیب بر حسب گرم ۳۷ گرم می‌باشد و یک سانتی‌مول از آن ۰/۳۷ گرم می‌باشد جرم $Ca(OH)_2$ برای جایگزینی ٤ سانتی‌مول H^+ در کیلوگرم عبارتست از

$$\frac{\text{۴سانتی‌مول آهک}}{\text{کیلوگرم خاک}} \times \frac{\text{۰/۳۷ گرم}}{\text{سانتی‌مول آهک}} = \frac{\text{۱/۴۸ گرم آهک}}{\text{کیلوگرم خاک}}$$

این مقدار آهک در سطح یک هکتار با عمق ۱۵ سانتیمتر عبارتست از :

گرم ۱۰^٦× ۲/۹٦ = ۱۰^٦ × ۲ × ۱/٤۸ و یا ۲/۹٦ تن می‌باشد

بار و هم‌والانسی شیمیایی: در هر یک از مثال‌های قبل تعداد بارهای ارائه شده به‌وسیله‌ی یون جایگزین‌کننده‌ی هم‌والانس با بار جایگزین شونده است. بنابراین، یک مول بار منفی یک بار مثبت را چه از Al^{3+}, Mg^{2+}, Ca^{2+}, NH_4^+, Na^+, K^+, H^+ و یا هر کاتیون دیگر جذب می‌کند در خاطر داشته باشید که فقط نصف وزن اتمی یک کاتیون دو ظرفیتی مانند Ca^{2+} و Mg^{2+} و ۱/۳ وزن اتمی کاتیون سه ظرفیتی Al^{3+} برای یک مول بار لازم می‌باشد. این هم‌والانسی شیمیایی هم برای تبادل کاتیونی و هم آنیونی کاربرد دارد.

جدول۷-۸ مقدار تبادل کاتیونی متوسط(CEC) و مقدار pH در بیشتر از سه هزار خاک که ۹ راسته‌ی مختلف خاک را معرفی می‌کند. بهCEC خیلی بالا در هیستوسول‌ها و در میان خاک‌های معدنی به ورتی‌سول‌ها توجه کنید. التی‌سول‌ها دارای کمترین CEC می‌باشند. pH متوسط پایین اسپدوسول‌ها و pH بالای اریدی‌سول‌ها و انتی‌سول‌ها (که بسیاری از آن‌ها در مناطق دارای بارندگی اندک، قرار دارند) قابل توجه می‌باشند.

رده خاک	التی‌سول	الفی‌سول	اسپدوسول	مولی‌سول	ورتی‌سول	اریدی‌سول	انسپتی‌سول	انتی‌سول	هیستوسول
CEC $Cmol_c/Kg$	۳/۵	۹/۰	۹/۳	۱۸/۷	۳۵/۶	۱۵/۲	۱٤/٦	۱۱/٦	۱۲۸
pH	۵/٦	٦/۰	٤/۹۳	٦/۵۱	٦/۷۲	۷/۲٦	٦/۰۸	۷/۳۲	۵/۵

pH و ظرفیت تبادل کاتیونی

در فصل قبل اشاره گردید که CEC اکثر خاک‌ها با فزونی pH افزایش می‌یابد. در مقادیر pH خیلی پایین CEC معمولاً پایین است (شکل۱۷-۸). تحت این شرایط فقط بار دایمی رس‌های نوع ۲:۱ (فصل ۸-۸ را مشاهده کنید) و بخش کوچکی از بار وابسته به pH کلوییدهای آلی و آلوفان و بعضی رس‌های نوع ۱:۱، کاتیون‌های قابل‌تبادل را نگاهداری می‌کنند. با افزایش pH بار منفی بر روی بعضی از رس‌های سیلیکاتی نوع۱:۱، آلوفان، هموس و حتی اکسیدهای Fe و Al افزایش می‌یابد. بنابراین سبب افزایش CEC می‌شود. برای تعیین مقدار حداکثر این ظرفیت نگهداری، CEC معمولاً در pH ۷ و یا بالاتر تعیین می‌شود. در pH خنثی و یا اندکی قلیایی، CEC بیانگر اکثر بارهای وابسته و همین‌طور بارهای ثابت است.

تابلو ۲-۸ برآورد تبادل کاتیونی

فرض کنید شما می‌خواهید ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌های سطحی دو منطقه به‌شرح زیر برآورد کنید

۱- یک خاک مولی‌سول کشت شده در ایالت ایوا (با pH ۷ ، ۲۰ درصد رس و ٤ درصد ماده‌ی آلی)

۲- یک خاک اکسی‌سول از جنگل‌های بکر در حوزه آمازون در برزیل (با pH ٤ ، ٦۰ درصد رس و ٤درصد ماده‌ی آلی)

مولی‌سول: غالب‌ترین رس‌ها در مولی‌سول احتمالاً نوع ۲:۱ باشد و CEC متوسط آن‌ها حدود ۸۰ سانتی‌مول در کیلوگرم خاک است در pH ۷، CEC ماده‌ی آلی حدود ۲۰۰ سانتی‌مول در کیلوگرم است (جدول٦-۸ را مشاهده کنید). از آن‌جاکه ۱ کیلو از خاک دارای ۰/۲ کیلو رس (۲۰ درصد خاک) و ۰/۰٤ کیلو ماده‌ی آلی (٤ درصد خاک) می‌باشد، می‌توانیم CEC خاک را با رابطه زیر تعیین کنیم

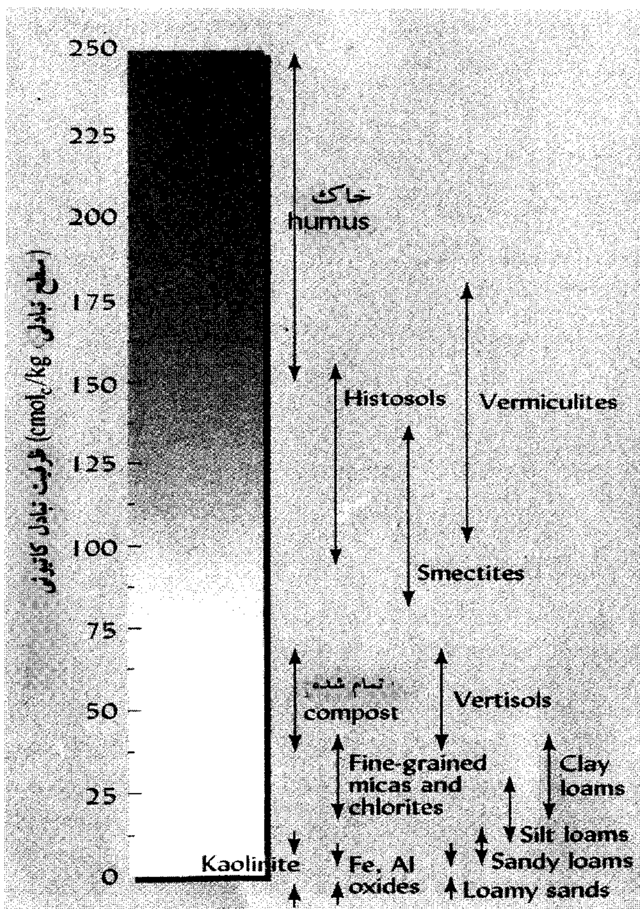
$$\frac{\text{سانتی‌مول}}{\text{Kg خاک}} = \frac{\text{۲۰۰سانتی‌مول}}{\text{Kg ماده‌ی آلی}} \times \frac{\text{۰/۰٤ Kg ماده‌ی آلی}}{\text{Kg خاک}} + \frac{\text{۸۰ سانتی‌مول}}{\text{Kg رس}} \times \frac{\text{۰/۲Kg رس}}{\text{Kg خاک}} = ۱۶+۸=۲۴$$

اکسی‌سول: CEC رس‌های اصلی اکسی‌سول‌ها (احتمالاً کائولینیت و اکسیدهای آهن و آلومینیوم) پایین است و احتمالاً بیشتر از ۳ سانتی‌مول در کیلوگرم نیست. CEC ماده‌ی آلی در این خاک‌های خیلی اسیدی (pH= ٤) نسبتاً پایین است و احتمالاً بیشتر از ۱۰۰ سانتی‌مول در کیلوگرم نباشد (شکل ۱۷-۸ را مشاهده کنید). CEC همراه با ۰/٦ کیلوگرم از این رس (٦۰ درصد خاک) و ۰/۰٤ کیلو از ماده‌ی آلی (٤ درصدخاک) مطابق زیر بدست می‌آید.

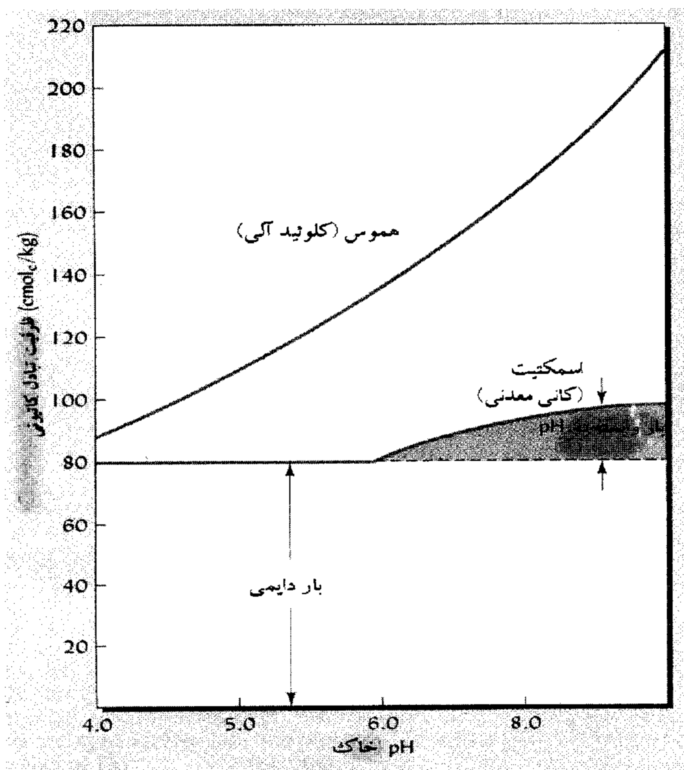
$$\frac{\text{سانتی‌مول}}{\text{Kg خاک}} = \frac{\text{۱۰۰ سانتی‌مول}}{\text{در Kg ماده‌ی آلی}} \times \frac{\text{۰/۰٤ Kg ماده‌ی آلی خاک}}{\text{Kg خاک}} + \frac{\text{۳سانتی‌مول}}{\text{Kg رس}} \times \frac{\text{۰/٦ Kg رس}}{\text{Kg خاک}} = ۱/۸+۴=۵/۸$$

تفاوت بسیار زیاد در ظرفیت تبادل کاتیونی در بین این دو خاک بیانگر اختلاف توانایی آن‌ها در عرضه‌ی عناصر غذایی است. باقی گذاشتن پوشش طبیعی (جنگل) در منطقه‌ی برزیل احتمالاً پایدارترین استفاده از خاک‌های اکسی‌سول است، درحالی‌که مولی‌سول‌ها می‌توانند به‌طور پایدار به کشت محصولات زراعی اختصاص یابند.

نوع کانی رس را می‌توان با برعکس نمودن مراحل فوق‌الذکر وقتیCEC خاکی معلوم بوده اما نوع رس نامعلوم است برآورد نمود.



شکل ۱۶-۸ دامنه‌ی تغییرات در ظرفیت تبادل کاتیونی (در pH مساوی ۷) که شاخص انواع خاک‌ها و مواد خاکی است. CEC بالای هموس مشخص می‌سازد که چرا این کلوئید نقش بارزی را در اکثر خاک‌ها و به‌خصوص در خاکهایی که دارای رس‌های کائولینیت و اکسیدهای آهن و آلومینیوم باCEC پایین است ایفا می‌کند.



شکل ۱۷-۸ تأثیر pH بر روی CEC اسمکتیت و هموس. در زیر pH ٦، بار کانی‌های رسی نسبتاً ثابت است، این بار دایمی به حساب آمده و ناشی از جانشینی یونی در واحد بلور می‌باشد. بالاتر از pH ٦، بار روی کلوییدهای معدنی به‌دلیل یونیزاسیون هیدروژن از گروه‌های هیدراکسیل ظاهر شده در لبه بلورها، اندکی افزایش می‌یابد. برعکس رس، اساساً تمام بار روی کلوییدهای آلی وابسته به pH به‌حساب می‌آید.

۱۳-۸ کاتیون‌های قابل تبادل در خاک‌های مزارع

کاتیون‌های قابل تبادل خاص همراه با کلوییدهای خاک از یک منطقه اقلیمی با منطقه دیگر متفاوت است. H^+, Ca^{2+} و Al^{3+} و یون‌های همتافت هیدراکسید آلومینیوم در مناطق مرطوب غالب‌ترین ین‌ها می‌باشند، ین‌های Ca^{2+}, Mg^{2+} و Na^+ در مناطقی با بارندگی اندک غالب می‌باشند (جدول ۸-۸). کاتیون‌های غالب در همتافت تبادل تأثیر فراوانی در خصوصیات خاک دارند.

در هر خاک، درصد هر کاتیون در ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به درصد اشباع آن کاتیون مشهود است. بنابراین اگر ۵۰ درصدCEC از کاتیون Ca^{2+} تشکیل شده باشد، درصد اشباع کلسیم در همتافت تبادل ۵۰ درصد می‌باشد.

این واژه به‌ویژه در تعیین میزان نسبی منابع اسیدیته و قلیاییت در محلول خاک مفید است. بنابراین، درصد اشباع به‌وسیله‌ی ین‌های H^+ و Al^{3+} بیانگر شرایط اسیدی بوده درحالی‌که افزایش درصد کاتیون‌های غیراسیدی (معمولاً به آن درصد اشباع بازی گفته می‌شود[1]) نشان‌دهنده تمایل خاک به‌سوی خنثی‌شدن و یا قلیاییت می‌باشد. درصد اشباع بازی خصوصیت مهم خاک است، به‌خصوص چون با اسیدیته خاک به‌طور عکس در ارتباط می‌باشد. این روابط در فصل/ ۹ بیشتر مورد تشریح قرار خواهد گرفت.

درصد اشباع عناصر غذایی اصلی مانند کلسیم و پتاسیم در جذب آن‌ها به‌وسیله‌ی گیاهان در حال رشد بسیار مؤثر است. این مسأله همراه با تعامل تبادل کاتیونی و تغذیه گیاهی اول مورد توجه قرار خواهد گرفت.

۱۴-۸ تبادل کاتیونی و عناصر غذایی قابل استفاده

کاتیون‌های قابل‌تبادل معمولاً برای زیواچه‌های خاک و گیاهان عالی قابل استفاده می‌باشند طی تبادل کاتیونی، ین‌های هیدروژن ریشه‌ی گیاهان و زیواچه‌های خاک کاتیون‌های غذایی را از همتافت تبادل جایگزین می‌کنند کاتیون‌های غذایی به‌داخل محلول خاک رانده شده و در آن‌جا، یا به‌وسیله‌ی سطوح جذبی ریشه‌ها و موجودات خاک جذب و هضم گردیده، و یا به‌وسیله‌ی زهاب خارج می‌شوند. واکنش‌های تبادل کاتیونی که در تحرک آلاینده‌های آلی و معدنی در خاک‌ها مؤثرند در بخش ۱۶-۸ مورد بحث قرار خواهند گرفت. در این بخش توجه خود را به جنبه‌های تغذیه گیاهی معطوف می‌داریم.

جدول۸-۸ اطلاعات مربوط به تبادل کاتیونی در خاک‌های معدنی سطحی نمونه در مناطق مختلف

خصوصیات	خاک‌های مناطق گرم ومرطوب (التی‌سول)	خاک‌های مناطق خنک و مرطوب (الفی‌سول)	خاک‌های مناطق نیمه‌خشک (استول)	خاک‌های مناطق خشک(ناترارجید)*
کلسیم قابل تبادل (سانتی‌مول در کیلوگرم)	۲-۵	٦-۹	۱٤-۱۷	۱۲-۱٤
بازهای قابل تبادل دیگر (سانتی‌مول در کیلوگرم)	۱-۲	۲-۳	۵-۷	۸-۱۲
هیدروژن و آلومینیوم قابل تبادل (سانتی‌مول در کیلوگرم)	۳-۷	٤-۸	۰-۲	۰
ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی‌مول در کیلوگرم)	۳-۱۲	۱۲-۱۸	۲۰-۲٦	۲۰-۲٦
درصد اشباع بازی	۲۵	۵۰-۷۵	۹۰-۱۰۰	۱۰۰
pH احتمالی	۵-۵/٤	٦-۵/٦	۷	۸-۱۰

* Natrargids : خاک‌های مناطق خشک دارای افق نایریک (سدیمی) همراه با رس دارای ESP بالا

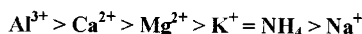
[1] - با بیان فنی، کاتیون‌های غیراسیدی مانند Ca^{2+}, Mg^{2+} و K^+ و Na^+ باز نیستند. وقتی این کاتیون‌ها به‌جای H^+ جذب کلوییدها شوند، سبب کاهش اسیدیته و بالارفتن pH خاک خواهند شد. به این دلیل به آن‌ها باز گفته می‌شود و آن بخش از CEC که مربوط به آن‌هاست معمولاً درصد اشباع بازی اطلاق می‌گردد.

اشباع کاتیون و قابلیت استفاده‌ی عناصر غذایی

عوامل متعددی درتسریع و یا تأخیر آزاد شدن عناصر غذایی برای گیاهان دخیل هستند. اوّل، درصد اشباع همتافت تبادل به‌وسیله‌ی کاتیون غذایی مورد نظر می‌باشد. برای مثال، اگر درصد اشباع کلسیم یک خاک بالا باشد جابه‌جایی این کاتیون آسان و سریع است. بنابراین ٦ سانتی‌مول کلسیم قابل تبادل در یک خاک که ظرفیت تبادل آن ۸ سانتی‌مول در کیلوگرم باشد (۷۵٪ اشباع کلسیم)، احتمالاً به‌معنی قابلیت استفاده‌ی آسان می‌باشد. اما با همان ٦ سانتی‌مول در کیلوگرم اگر ظرفیت تبادل کاتیونی یک خاک ۳۰ سانتی‌مول در کیلوگرم باشد(۲۰درصد اشباع کلسیم)، قابلیت استفاده پایین خواهد بود، و به این دلیل است که در گیاهان دوست‌دار کلسیم، مانند یونجه، اشباع کلسیم حداقل در بخشی از خاک باید به ۸۰ درصد رسیده و یا از آن فراتر رود.

اثر یون‌های جذب شده‌ی مکمل

عامل دوّم مؤثر در جذب کاتیون مورد نظر، یون‌های مکمل نگهداری شده بر روی کلویید است، همان‌طورکه در بخش ۳-۸ بحث گردید، قدرت جذب کاتیون‌های مختلف بر روی اکثر کلوییدها به‌ترتیب زیر است



درنتیجه یک کاتیون غذایی مانند K^+ اگر یون‌های مکمل Al^{3+} و H^+ (خاک‌های اسیدی) باشند، با قدرت کمتری بر روی کلویید نگهداری خواهد شد تا این‌که یون‌های مکمل Mg^+ و Na^+ (خاک‌های خنثی تا قلیایی) باشند. K^+ به سستی نگهداری شده برای جذب به‌وسیله‌ی گیاهان به آسانی قابل استفاده بوده و در خاک‌های اسیدی مورد آبشویی قرار می‌گیرند.

همچنین، ناهمسازی جذب[1] در بعضی از خاک‌ها سبب محدودیت جذب بعضی از کاتیون‌ها به‌وسیله‌ی نباتات می‌شود. بنابراین، جذب پتاسیم به‌وسیله‌ی گیاهان در صورت وجود مقادیر بالای کلسیم محدود می‌شود. به‌همین‌ترتیب مقادیر بالای پتاسیم از نظر محدودنمودن جذب منیزیم، حتی با وجود مقادیر قابل توجه منیزیم در خاک، شناخته شده است.

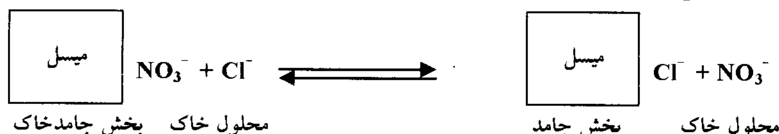
اثر نوع کلویید

سومین عامل مؤثر، شدت نگهداری کاتیون خاص توسط انواع میسل‌های کلوییدی و سهولت تبادل کاتیون به‌وسیله‌ی این کلوییدهاست. در یک درصد اشباع بازی خاص رس‌های اسمکتیت، که دارای تراکم بار بالایی در واحد سطح کلویید می‌باشند کلسیم را با قدرت بسیار بیشتری از کائولینیت (دارای تراکم بار کم) نگهداری می‌کنند درنتیجه رس‌های اسمکتیت باید قبلاً به حدود ۷۰ درصد اشباع برسند تا کلسیم به آسانی و با سرعت کافی برای جذب به‌وسیله‌ی اکثر گیاهان مبادله گردد. برعکس، یک رس کائولینیتی کلسیم را به آسانی بسیار بیشتری مبادله کرده و یک منبع رضایت‌بخش این عنصر در مقادیر بسیار کمتر درصد اشباع بازی می‌باشد. نیاز افزودن آهک به این دو خاک به‌خاطر این عامل تا حدی متفاوت است.

۱۵-۸ تبادل آنیونی

آنیون‌ها به دو طریق به‌وسیله‌ی کلوییدهای خاک نگهداری می‌شوند. اوّل آن‌ها به‌وسیله‌ی سازوکار جذب آنیونی مشابه با جذب کاتیونی، نگهداری می‌شوند دوم آن‌ها عملاً با هیدراکسیدها و اکسیدهای سطحی وارد واکنش شده و ایجاد همتافت‌های فضای داخلی[2] خیلی مشخص می‌کنند. ابتدا جذب آنیونی را مورد ملاحظه قرار می‌دهیم.

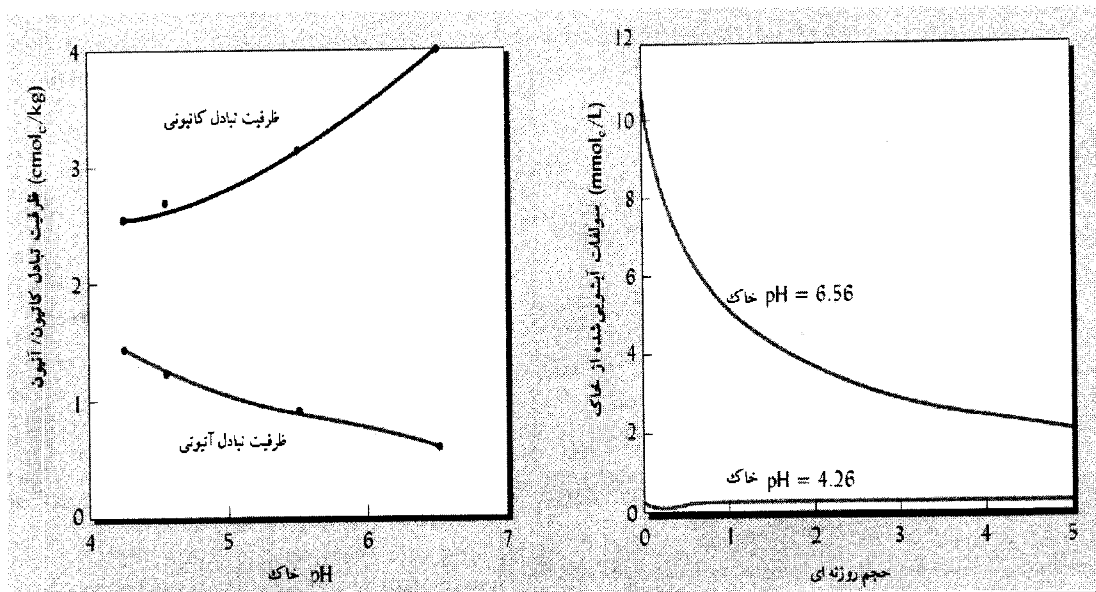
اصول اساسی تبادل آنیونی مشابه تبادل کاتیونی است، با این استثناء که بار بر روی کلوییدها مثبت بوده و تبادل بین آنیون‌های دارای بار منفی انجام می‌گیرد. بار مثبت همراه با سطح کائولینیت، اکسیدهای آهن و آلومینیوم و آلوفان آنیونهایی مانند SO_4^{2-} و NO_3^- را جذب می‌کند، یک مثال ساده از واکنش تبادل آنیونی همانند زیر است :



---

[1]- Antagonism
[2]- Inter – Sphere complexes

درست همانند تبادل کاتیونی، مقادیر هم والانس نیترات و کلر مبادله می‌شوند، واکنش می‌تواند برعکس گردیده و عناصر آزادشده به‌وسیله‌ی کلویید خاک جذب شوند. برخلاف ظرفیت تبادل کاتیونی، ظرفیت تبادل آنیونی خاک‌ها معمولاً با افزایش pH کاهش می‌یابد. شکل۱۸-۸ این واقعیت را در یک خاک التی‌سول در ایالت جورجیا تشریح می‌کند. در بعضی از خاک‌های خیلی اسیدی مناطق حاره‌ای که دارای کائولینیت و اکسیدهای آهن و آلومینیوم زیاد می‌باشند، ظرفیت تبادل آنیونی ممکن است از ظرفیت تبادل کاتیونی بیشتر شود.

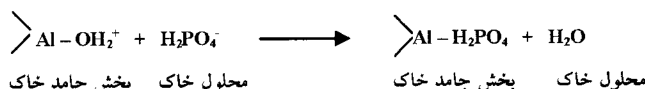


شکل ۱۸-۸ (سمت چپ) اثر افزایش pH مواد تحت‌الارضی در یک خاک التی‌سول ایالت جورجیا بر روی ظرفیت تبادل کاتیونی و آنیونی. به کاهش قابل توجه ظرفیت تبادل آنیونی همراه با افزایش pH خاک توجه کنید. وقتی یک ستون از مواد دارایpH پایین (pH=۴/۲۶) با $Ca(NO3)_2$ مورد آبشویی قرار گرفت (سمت راست)، سولفات اندکی از خاک خارج شد. برعکس آبشویی مشابه خاکی که دارای بالاترینpH بود (pH =۶/۵۶) و در آن ظرفیت تبادل آنیونی به نصف کاهش یافته بود سبب تبادل آنیونی NO_3^- به‌جای SO_4^{2-} و آبشویی مقدار زیادی سولفات از داخل خاک گردید. در این شکل اهمیت جذب آنیونی در کند نمودن حرکت آنیون‌های خاص و یا سایر مواد دارای بار منفی تشریح شده است.

تبادل آنیونی در قابل استفاده ساختن آنیون‌ها برای رشد نبات، و همزمان با آن جلوگیری از آبشویی داخلی این آنیون‌ها درخاک بسیار مهّم است. برای مثال تبادل آنیونی هدررفت سولفات را از خاک‌های تحت‌الارض جنوب آمریکا محدود می‌کند (شکل ۸-۸ و بخش۲۲-۱۳ رامشاهده کنید). حتی ممکن است آبشویی نیترات از تحت‌الارض خاک‌های خیلی هوازده گرمسیری به‌وسیله‌ی تبادل آنیونی محدود گردد. همین‌طور ممکن است حرکت رو به پایین بعضی از آلاینده‌های باردار موجود در ضایعات آلی به آب زیرزمینی با استفاده از این واکنش‌های تبادل کاتیونی و آنیونی محدود گردد.

همتافت‌های فضای داخلی

بعضی از آنیون‌ها مانند فسفاتها، ارسناتها، مولیبدان‌ها و سولفات‌ها می‌توانند با سطح کلوییدها واکنش انجام داده و ایجاد همتافت‌های فضای داخلی کنند. برای نمونه ین $H_2PO_4^-$ ممکن است به‌جای این‌که به‌صورت یک ین با سهولت تبادل آسان بر روی کلویید باقی بماند، با گروه هیدراکسیل پروتونی شده، وارد واکنش گردد.



$$\rangle Al-OH_2^+ + H_2PO_4^- \longrightarrow \rangle Al-H_2PO_4 + H_2O$$

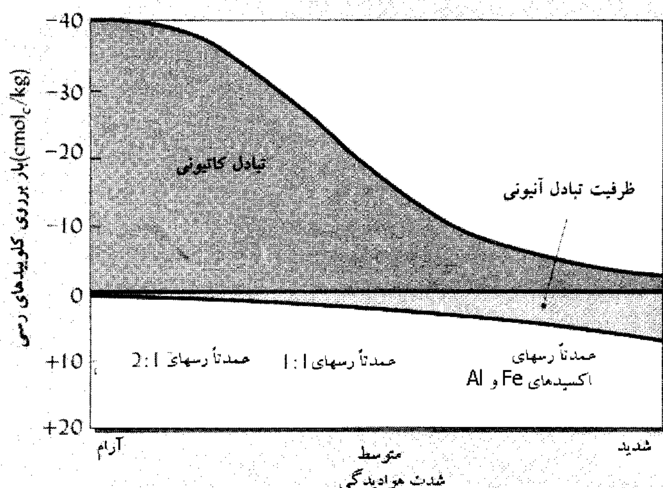
بخش جامد خاک   محلول خاک   بخش جامد خاک   محلول خاک

این واکنش سبب کاهش خالص بار مثبت کلویید خاک می‌شود. به‌علاوه $H_2PO_4^-$ با شدت زیاد به‌وسیله‌ی مواد جامد خاک نگهداری شده و با سهولت قابل استفاده جذب گیاهان نمی‌باشد.

به‌رغم این پیچیدگی‌ها تبادل آنیونی یک سازوکار مهم با اثرات متقابل در خاک‌ها و بین خاک‌ها و گیاهان می‌باشد. همراه با تبادل کاتیونی، تبادل آنیونی توانایی خاک‌ها را برای نگهداری عناصر غذایی برای دستیابی گیاهان مشخص می‌سازد.

هوادیدگی و میزان CEC و AEC

میزان CEC در کانی‌های مختلف رسی، که در شکل ۱۹-۸ نشان داده شده است. مشخص می‌سازد که رس‌های تکامل‌یافته در شرایط هوادیدگی ملایم (اسمکتیت و ورمی‌کولیت) دارای CEC بسیار بالاتری از خاک‌های تکامل‌یافته در شرایط هوادیدگی شدید می‌باشند. این شکل همچنین اثرات کلی افزایش شدت هوادیدگی را در مقدار بارهای منفی، که CEC را پی‌ریزی می‌کنند تشریح می‌کند. همان‌طورکه در شکل پیدا است میزان AEC تمایل دارد در رس‌های تکامل‌یافته در شرایط هوادیدگی شدید (کائولینیت) بسیار بالاتر از رس‌هایی باشد که در شرایط ملایم تکامل یافته‌اند. این شکل کلی برای انجام تخمین اولیه‌ی مقدار CEC و AEC خاک‌ها در اقالیم مختلف کمک می‌کند. این شکل باید با احتیاط مورد استفاده قرار گیرد، زیرا بعضی از خاک‌های غنی از رس‌های ۲:۱ در مناطقی یافت می‌شوند که تحت تأثیر هوادیدگی شدید می‌باشند. سرشت مواد مادری و زمان اعمال هوادیدگی در نوع رس‌هایی موجود در روابط CEC/AEC مؤثر می‌باشد.



شکل ۱۹-۸ اثر شدت هوادیدگی بر بار کانی‌های رسی و درنتیجه بر ظرفیت تبادل کاتیونی و آنیونی آن‌ها (CEC و AEC). توجه کنید که CEC بالا و AEC پایین پیامد هوادیدگی ملایم بوده و سبب ایجاد رس‌های ۲:۱ مانند میکای بافت ریز، ورمی‌کولیت و اسمکتیت می‌شود. هوادیدگی شدیدتر سبب تخریب رس‌های ۲:۱ و تشکیل کائولینیت در ابتدا، سپس اکسیدهای آهن و آلومینیوم می‌گردد. این رس‌ها دارای ظرف تبادل کاتیونی بسیار کمتر و ظرفیت تبادل آنیونی بالاتر می‌باشد. چنین تغییرات در غالبیت رس، بیانگر منحنی‌های نشان داده شده می‌باشد.

۱۶-۸ جذب آفت‌کش‌ها و آلودگی آب زیرزمینی

کلوییدهای خاک سبب مهار حرکت آفت‌کش‌ها و سایر ترکیبات آلی به‌داخل آب زیرزمینی می‌شوند. نگهداری این مواد شیمیایی به‌وسیله‌ی کلوییدهای خاک از حرکت رو به پایین آن‌ها از داخل خاک ممانعت کرده، و یا چنان کند می‌کند که این ترکیبات به‌وسیله‌ی میکروب‌های خاک تجزیه گردند.

با قبول و یا آزادکردن پروتون (H^+) به‌وسیله‌ی گروه‌های عامل مانند OH-، NH_2- و $COOH$- در ساختمان شیمیایی بعضی از ترکیبات آلی سبب ایجاد بارهای مثبت و یا منفی و تقویت تبادل آنیونی و یا کاتیونی می‌گردند. سایر ترکیبات آلی در واکنش‌های همتافت فضای داخلی و واکنش‌های جذب عناصر غذایی که آن را تشریح نمودیم شرکت می‌کنند. هرچند اکثر ترکیبات آلی معمولاً در داخل کلوییدهای آلی خاک طی فرایندی که تفکیک‌کردن[1] نام دارد جذب می‌شوند. کلوییدهای آلی خاک همانند یک حلال برای مواد شیمیایی مصرف شده عمل می‌کنند؛ بنابراین، غلظت آن‌ها را در بین آن‌چه در روی کلوییدهای خاک نگهداری شده و آنچه در محلول خاک باقیمانده تفکیک می‌کنند. این ترکیبات غیریونی مواد آلی آب‌گریز بوده و به‌وسیله‌ی آب دفع می‌شوند درنتیجه رس‌های مرطوب کمتر در فرایند تفکیک نقش داشته زیرا مولکول‌های آب جذب شده آن‌ها از حرکت مواد شیمیایی آلی غیریونی به‌داخل و یا اطراف رس ممانعت می‌کند[2]

[1]- Partitioning

[2]- کاتیون‌های آب‌دار شده مانند (کلسیم) که بر روی سطح اسمکتیت جذب شده‌اند می‌توانند با کاتیون‌های بزرگ آلی مبادله شده و سبب ایجاد آن‌چه رس‌های آلی نامیده می‌شود گردند، این رس‌های آلی برای جذب ترکیبات آلی مناسب بوده سبب جداسازی این ترکیبات به‌وسیله‌ی رس می‌شوند. از این پدیده برای جداسازی مواد آلاینده آلی به‌وسیله‌ی رس‌های آلی اسمکتیت از پساب‌ها و آب‌های زیرزمینی آلوده شده استفاده می‌کنند.

از آن‌جاکه ما از نحوه دقیق چگونگی فرایندهای جذب، همتافت و تفکیک خیلی نمی‌دانیم، واژه عمومی جذب را برای تشریح نگهداری این ترکیبات آلی به‌وسیله‌ی خاک مورد استفاده قرار می‌دهیم.

ضرایب توزیع

تمایل یک آفت‌کش و یا ترکیبات آلی برای آبشویی به‌داخل آب‌های زیرزمینی به‌وسیله‌ی قابلیت انحلال ترکیب شیمیایی و یا نسبت مقدار ماده‌ی شیمیایی جذب‌شده به‌وسیله‌ی خاک به‌مقدار باقیمانده در محلول، تعیین می‌شود. این نسبت، ضریب توزیع خاک(K_d) نامیده می‌شود.

$$K_d = \frac{\text{میلی‌گرم ماده‌ی شیمیایی جذب‌شده در کیلوگرم خاک}}{\text{میلی‌گرم ماده شیمیایی باقیمانده در یک لیتر محلول}}$$

یک نسبت مشابه که معطوف به جذب به‌وسیله‌ی ماده‌ی آلی است، ضریب توزیع کربن آلی Koc نامیده می‌شود.

$$Koc = \frac{\text{میلی‌گرم ماده‌ی شیمیایی جذب‌شده در کیلوگرم کربن آلی}}{\text{میلی‌گرم ماده شیمیایی باقیمانده در یک لیتر محلول}}$$

جدول ۹-۸ ضرایب توزیع خاک و کربن آلی را در دو علف‌کش، و بعضی از ترکیبات فرعی یکی از آن‌ها (آترازین) نشان می‌دهد. ضرایب توزیع بالاتر بیانگر پیوند هرچه بیشتر ماده‌ی شیمیایی با کلوییدهای خاک و احتمال حضور کمتر آن‌ها در آب زیرزمینی می‌باشد. هرچند اگر اهداف مدیریتی زدودن مواد شیمیایی آلی از خاک است، ضرایب کمتر مطلوب‌تر می‌باشد. این اطلاعات بر اهمیت قدرت جذب همتافت خاک و به‌خصوص هموس در مدیریت ترکیبات آلی افزوده شده به خاک تأکید دارد.

۱۷-۸ خصوصیات فیزیکی کلوییدها

کلوییدهای خاک از نظر خصوصیات فیزیکی خود بسیار متفاوت می‌باشند. این خصوصیات شامل شکل‌پذیری، چسبندگی، انبساط، انقباض، پراکنده‌شدن و هماوری می‌باشند. این خصوصیات در مفیدبودن خاک‌ها برای استفاده‌های کشاورزی و غیرکشاورزی تا حد زیادی مؤثر می‌باشند.

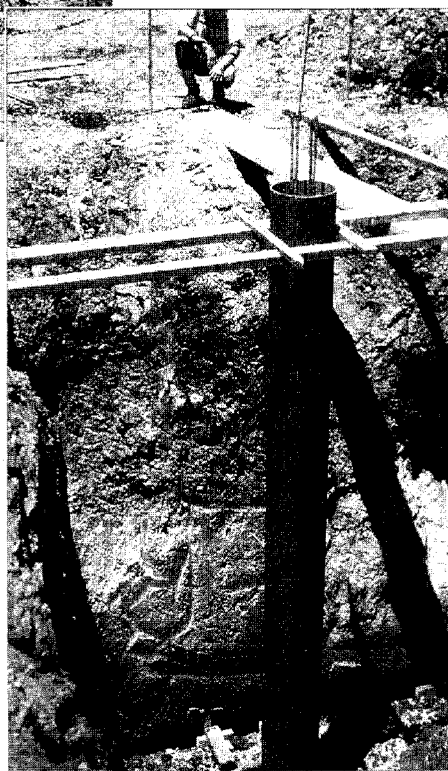
اثر کلوییدها بر روی خصوصیات خاک‌ها در فصل/ ٤ مورد بحث قرار گرفت. امّا برای آشنایی بیشتر با چهارچوب ساختمانی هر یک از آن‌ها آسان‌تر این است که تأثیر این مواد را در زندگی خود درک کنیم. شکل ۲۰-۸ نمونه‌ای از اقداماتی را که باید در ساخت ابنیه برای غلبه بر اثرات منفی خصوصیات انبساط و انقباض کلوییدهای خاک، اسمکتیت معمول داشت ارائه می‌دهد. خوشبختانه، در جاهای دیگر، سایر کلوییدها بیشتر قابل استفاده بوده و پی‌سازی محکم منازل را ممکن می‌سازند. اگر اقدامات پیشگیرانه قبل‌از ایجاد خانه بر روی رس‌های اسمکتیت به‌عمل نیاید، صاحبان خانه‌ها احتمالاً خسارت سنگینی را در آینده باید بپردازند. این فقط مثالی از نقش حیاتی کلوییدهای خاک است که در تعیین مفیدبودن آن ایفا می‌کنند.

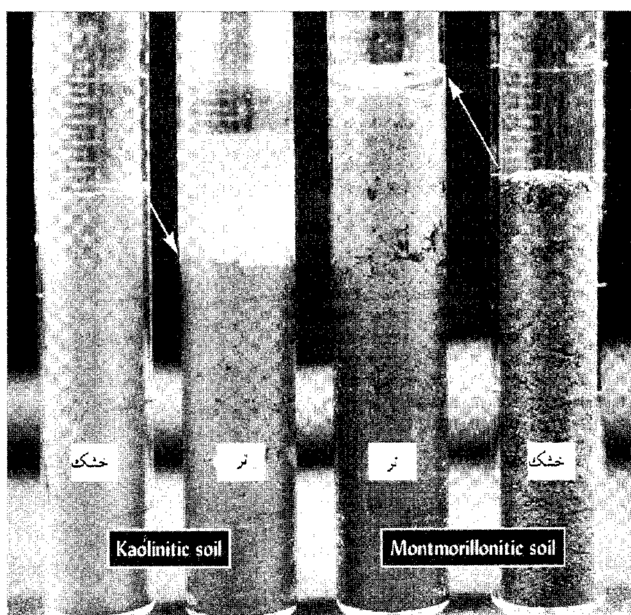
۱۸-۸ استفاده‌های زیست‌محیطی از رس‌های قابل‌انبساط

خصوصیات فیزیکی شیمیایی رس‌های قابل‌انبساط و به‌خصوص اسمکتیت آن‌ها را به مواد مفیدی برای جلوگیری از حرکت ناخواسته‌ی آب و آلودگی آن تبدیل کرده است، این رس‌ها به‌طور گسترده‌ای در ساختن پوشش‌ها برای عایق‌کاری استخرها، مخازن فاضلاب، مخازن ضایعات صنعتی و چاله‌های دفع زباله مورد استفاده قرار گرفته‌اند. یک لایه از رس اسمکتیت مصرف شده در کف و دیواره‌های استخرها و یا منابع آب. هنگام مرطوب‌شدن انبساط یافته و یک لایه غیرقابل‌نفوذ را در مقابل حرکت نه‌تنها آب بلکه مواد آلی و معدنی آلاینده موجود در آن، ایجاد می‌کند. این مواد آلاینده در محدوده غیرقابل‌نفوذ باقی مانده و از حرکت آن‌ها به آب زیرزمینی ممانعت می‌شود.

اسمکتیت برای جلوگیری از حرکت روبه‌بالای نامطلوب مواد شیمیایی آلی از داخل چاه‌های مشاهداتی برای نظارت آلاینده‌های آلی در آب زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد. همان‌طورکه در شکل ۲۱-۸ نشان داده شده است، اسمکتیت مرطوب (بنتونیت) یک لایه‌ی غیرقابل‌دخول را بین لوله نمونه‌برداری و دیواره عریض‌تر چاه تشکیل می‌دهد بنابراین از حرکت روبه‌بالای مواد شیمیایی از آب زیرزمینی ممانعت می‌کند. دانشمندان زیست محیطی از این رس‌های منبسط شونده به‌طور فزاینده‌ای برای نظارت و همچنین جداسازی مواد شیمیایی آلی از آب طی فرایند تفکیک استفاده می‌کنند.



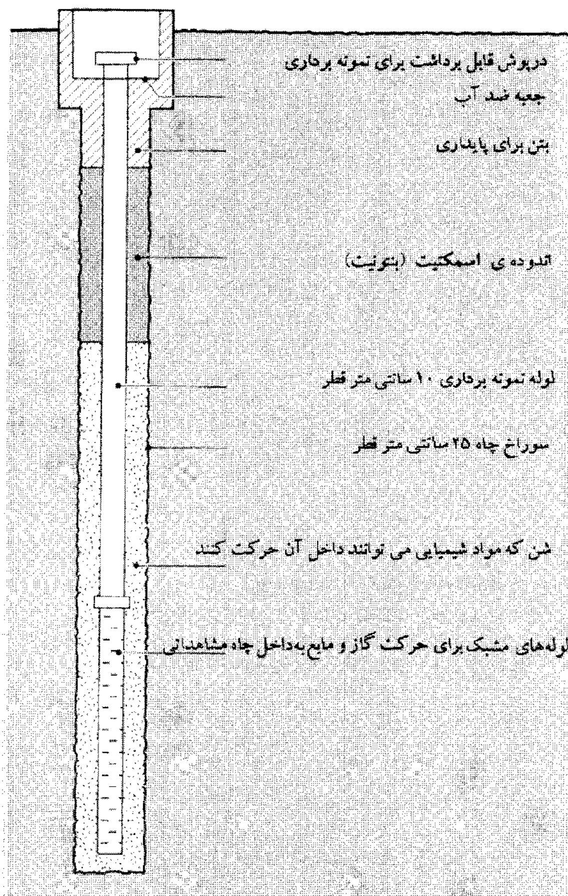




شکل ۲۰-۸ تمایل متفاوت دو نوع رس به انبساط در پایین عکس. سمت چپ تشریح شده است. تمام چهار استوانه در ابتدا شامل خاک‌های خشک الک شده رس بودند. دوخاک سمت چپ از افق یک خاک غنی از کائولینیت بود و خاک سمت راست شامل خاک غنی از مونت‌موریلونیت بود. دو مقدار مساوی آب به دو استوانه مرکزی در وسط اضافه شدند خاک کائولینیتی مقداری نشست کرد و قادر به جذب همه آب نبود، خاک مونت‌موریلونیت حدود ۲۵٪ حجم خود افزایش یافت و تقریباً تمام آب اضافه شده را جذب کرد. مناظر سمت راست و بالا نشان‌دهنده کاربرد عملی دانش موجود در باره خصوصیات رس است. (بالا) خاک‌های دارای مقادیر زیاد اسمکتیت دچار تغییرات قابل توجه حجم با انبساط و انقباض رس در اثر تر شدن و خشک‌شدن می‌گردند. این خاک‌ها (ورتی‌سول کالیفرنیا در اینجا نشان داده شده است) محل‌های بسیار نامناسبی از نظر ایجاد ساختمان تشکیل می‌دهند. منازل با ظاهر معمولی (بالا) در واقع بر روی پایه‌های بتون آرمه ساخته شده‌اند (پایین راست) که بر روی طبقه تحت‌الارض غیرمنبسط شونده قرار دارد. ایجاد ۱۵ تا ۲۵ عدد از این پایه‌ها که برای هر خانه لازم است هزینه ایجاد ساختمان را به دو برابر می‌رساند.

جدول ۹-۸ ضرایب تفکیک خاک و مواد آلی K_d و koc برای علف‌کش‌های دارای مصرف بسیار زیاد : ضرایب تفکیک برای خاک K_d و ماده‌ی آلی Koc برای دو علف‌کش بسیار پرمصرف آترازین[1] و متولاکلر[2] و برای سه ترکیب فرعی آترازین مورد حمله میکروارگانیزم‌ها یعنی دی‌اتیل آترازین، دی‌ایزوپروپیل آترازین و هیدراکسی آترازین. از آن‌جاکه مقادیر بالای K_d و koc بیانگر جذب شدید مواد شیمیایی به خاک است، تمایل دی‌اتیل آترازین برای آبشویی‌یافتن در این خاک التی‌سول در ایالت ویرجینیا در مقایسه با آترازین بالاست، امّا هیدراکسی آترازین با نرخ کمتری در خاک در معرض آبشویی قرار می‌گیرد.

علف‌کش	Kd	Koc
آترازین	۱/۸۲	۱٤۰
دی‌اتیل آترازین	۰/۹۹	۸۵
دی‌ایزوپروپیل آترازین	۱/٦٦	۱۲۸
هیدراکسی آترازین	۷/۹۲	٦۰۹
متولاکلر	۲/٤۷	۱۹۰



شکل ۲۱-۸ چگونگی استفاده از رس اسمکتیت (بنتونیت) به‌عنوان مسدودکننده و یا عایق برای جلوگیری از نشت رو به بالا از داخل یک میله چاه حفاری شده جهت نظارت بر وجود مواد شیمیایی آلی در خاکها. بنتونیت خشک در محل جایگذاری شده و سپس مرطوب می‌شود. در هنگام مرطوب شدن رس انبساط یافته و در اطراف لوله نمونه‌برداری و دیواره میله چاه محکم می‌شود. اسمکتیت مرطوب در مقابل حرکت رو به بالای مواد آلی مقاومت کرده و آن‌ها را به‌داخل لوله مشبک نمونه‌برداری هدایت می‌کند که می‌توانند برای آزمون نمونه‌برداری گردند. این لایه همچنین از حرکت مواد شیمیایی از سطح خاک و بنابراین مورد اشتباه قرار گرفتن آن با آلودگی اب زیرزمینی جلوگیری می‌کند.

[1]- Atrazhne
[2]- Metolachler

۸-۱۹ نتیجه‌گیری نهایی

مواد کلوییدی بیشترین خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک‌ها را مهار می‌کنند. این مواد شامل ۵ کلاس عمده از رس‌های سیلیکاتی، بلورین، هم‌چنین هیدراکسیدهای آهن و آلومینیوم، و سیلیکات‌های آلومینیوم‌دار بی‌شکل مانند آلوفان و هموس می‌باشند، به‌خاطر اندازه بسیار کوچک ذرات و ساختمان بشقاب‌مانند، این کلوییدها دارای سطح مخصوص بسیار زیادی می‌باشند، که بیشتر آن را سطح داخلی تشکیل می‌دهد که بسیار شبیه صفحات یک کتاب است. سطح داخلی کل بعضی از این رس‌ها (برای مثال اسمکتیت) به‌مراتب بیشتر از سطح خارجی آن‌ها می‌باشد.

خصوصیات کانی‌شناسی و ساختمان شیمیایی این کلوییدها سبب ایجاد بار الکتریکی ثابت بر روی و یا در نزدیکی سطح این ذرات کلوییدی می‌شود. بار منفی در روی اکثر رس‌های سیلیکاتی غالب می‌باشد. اما بار مثبت خاصهٔ بعضی از کلوییدها مانند هیدراکسیدهای Fe و Al به‌خصوص در pH پایین می‌باشد. بارهای موجود بر روی کلوییدها به آن‌ها امکان می‌دهند که یِن‌ها و دیگر مواد با بار مخالف را جذب کنند. برای مثال کاتیون‌ها جذب محل‌های دارای بار منفی و آنیون‌ها جذب محل‌های دارای بار مثبت می‌شوند.

در محل دارای بار بر روی کلوییدهای خاک تبادل بین یک یِن و یا ماده و دیگر یِن‌ها می‌تواند صورت گیرد. تبادل کاتیون‌ها و آنیون‌ها فرایندهای مهمی می‌باشد که گیاهان را قادر می‌سازد یِن H^+ را برای یِن‌های غذایی مانند Ca^{2+} و K^+ و یِن OH را برای یِن‌های SO_4^{2-} و NO_3^- مبادله کند. ظرفیت یک کلویید برای نگهداری کاتیون‌ها و تبادل آن‌ها ظرفیت تبادل کاتیونی و برای آنیون‌ها ظرفیت تبادل آنیونی نامیده می‌شود و آن معیاری از توانایی خاک برای عرضه‌ی عناصر غذایی به ریشه نبات و جلوگیری از حرکت رو به پایین آلاینده‌ها به‌داخل زهاب می‌باشد.

تبادل کاتیونی همانند فتوسنتز یک فرایند اساسی بقای حیات می‌باشد. بدون این خصوصیت بوم‌سامانان زمینی قادر به نگهداری عناصر غذایی برای حمایت پوشش طبیعی و یا پوشش معرفی شده به‌ویژه با وجود حوادث و فعالیت‌هایی مانند برداشت چوب، آتش‌سوزی و کشت وکار نمی‌باشد.

سووالات برای مطالعه

۱- همتافت کلوییدی خاک را تشریح کنید، اجزاء مختلف آنرا مشخص کرده و توضیح دهید که چگونه به‌عنوان بانکی برای عناصر غذایی عمل می‌کند.

۲- اختلاف در سطح مخصوص رس کائولینیت را با رس مونت‌موریلونیت (از اسکمتیت) مربوط به چه می‌دانید؟

۳- اختلاف در ساختمان بلوری کائولینیت، اسمکتیت، میکای ریز، ورمی‌کولیت و کلریت را مشخص کنید.

۴- دو فرایند اصلی وجود دارد که در طی آن‌ها رس‌های سیلیکاتی از هوا دیدگی کانی‌های اولیه ایجاد می‌شوند، کدام یک از این دو فرایند سبب تشکیل(۱)میکای دانه‌ریز (۲)کائولینیت از میکای مسکویت می‌شوند؟ توضیح دهید.

۵- اگر بخواهید رس کائولینیت را پیدا کنید کجا می‌روید؟ برای رس‌های (۱) اسمکتیت و (۲) ورمی‌کولیت نیز کجا می‌روید؟

۶- کدام یک از کانی‌های رس، دارای حداکثر و حداقل مطلوبیت هستند اگر کسی خواستار (۱)پی ساختمانی خوب(۲)ظرفیت تبادل کاتیونی بالا(۳)منبع بسنده کانی پتاسیم (۴)خاکی باشد که کلوخه‌های سختی بعد از شخم‌زدن ایجاد کند؟

۷- در کدام یک از خاک‌های زیر شما انتظار دارید که حداکثر و حداقل چسبندگی و شکل‌پذیری پس از مرطوب‌شدن وجود داشته باشد: (۱) خاکی با اشباع قابل توجه سدیم در مناطق نیمه‌خشک (۲)خاکی با قابلیت تبادل زیاد در مناطق نیمه‌مرطوب معتدل(۳)خاک‌های اسیدی خوب هوازده در مناطق حاره ای؟ جواب خود را تشریح کنید.

۸- خاکی دارای ۴ درصد هموس، ۱۰درصد مونت‌موریلونیت، ۱۰درصد ورمی‌کولیت و ۱۰درصد اکسیدهای آهن و آلومنیوم است ظرفیت تبادل کاتیونی آن تقریبا چقدر است؟

۹- میزان یِن‌های آلومنیوم را برای جایگزینی ۱۰ سانتی‌مول یِن Ca^{2+} در همتافت تبادل ۱ کیلوگرم خاک بر حسب گرم محاسبه کنید.

۱۰- اهمیت Kd وKoc را در ارزیابی کارمایه (انرژی) آلایندگی زهاب توضیح دهید کدام یک از این ضرایب توزیع به‌نظر می‌رسد که خصوصیت پایدار ترکیبات آلی مورد نظر بدون توجه به نوع خاک موجود می‌باشد؟ توضیح دهید.

آن‌ها چه کاری با باران کرده‌اند؟

پیتر، پل و ماری

درست مثل افزودن نمک به آش.
آسان‌تر این است که بعداً کمی دیگر به آن اضافه کنید (آهک‌دادن خاک) تا این‌که برای بیرون‌آوردن اضافی آن تلاش کنید.

دایره‌المعارف باغ‌داری آلی

فصل ۹ واکنش خاک : اسیدیته و قلیاییت خاک

درجه اسیدی‌بودن و یا قلیاییت خاک (واکنش خاک) به‌عنوان عامل اصلی که تقریباً در تمام ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و زیستی خاک مؤثر است، در نظر گرفته می‌شود. این عامل که بر حسب pH بیان می‌گردد، قابلیت استفاده‌ی عناصر غذایی و واکنش‌های ریزجانداران را در خاک به مقدار زیاد تنظیم می‌کند و در تعیین نوع درخت، بوته و علف‌های غالب در هر چشم‌انداز در تحت شرایط طبیعی مؤثر می‌باشد. این عامل قطعاً در میزان رشد و به‌طور کلی در سبزشدن یک نبات زراعی در یک محل به‌خصوص تعیین‌کننده است. واکنش خاک همچنین سرنوشت بسیاری از آلاینده‌های خاک را تعیین کرده و در تجزیه و حرکت احتمالی آن‌ها از خاک به‌داخل آب زیرزمینی و رودخانه‌ها مؤثر است.

pH خاک در تعیین تعداد و انواع موجودات خاک، که سبب تغییر پس‌ماندهای گیاهی به ماده‌ی آلی پرارزش می‌گردند نقش دارد. بنابراین، در ثبات خاکدانه‌ها و همچنین حرکت آب‌وهوا به‌داخل خاک مؤثر است.

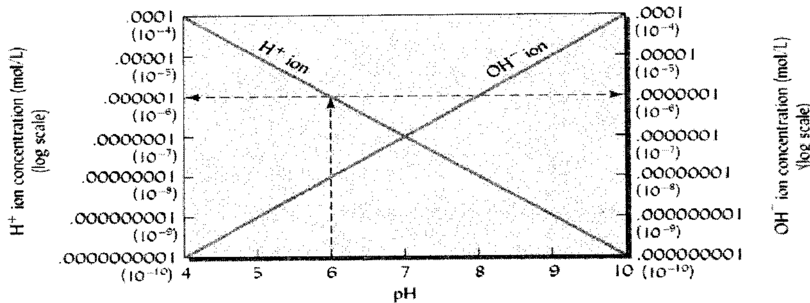
بسیاری از فعالیت‌های انسانی می‌تواند در واکنش خاک مؤثر باشد. برای مثال بعضی کودهای شیمیایی خاص و پس‌مانده‌های آلی در خاک برای تشکیل اسیدهای معدنی قوی مانند HNO_3 و H_2SO_4 وارد واکنش شده و این سبب افزایش اسیدیته خاک می‌گردد. این دو اسید نیز در باران‌های اسیدی وجود دارند که از گازهای منتشرشده در نیوار عمدتاً در اثر احتراق سوخت‌های فسیلی (نیروگاه‌ها و اتومبیل‌ها) و سوزاندن درخت‌ها و سایر توده‌های حیاتی سرچشمه می‌گیرند. نگرانی از زیان‌های حاصل از باران‌های اسیدی که ممکن است در خاک‌ها، محصولات و دریاچه‌های پایین‌دست به‌وجود آید درحال افزایش است.

اقلیم نیز تمایل دارد که اسیدیته و یا قلیاییت را در خاک‌ها تشدید کند، در مناطق مرطوب خاک‌ها تمایل دارند که کاملاً اسیدی شوند. اسیدیته به‌خاطر وجود بارندگی کافی برای خارج‌ساختن بسیاری از کاتیون‌های بازی (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+ و Na^+) و غالب‌شدن همتافت کلوییدی به‌وسیله‌ی یون‌های H^+ و Al^{3+} افزایش می‌یابد.

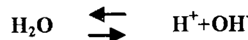
در مناطق با بارندگی اندک، عکس این مسأله صادق است، آبشویی کاتیون‌ها خیلی شدید نیست و کاتیون‌های بازی به‌جای یون‌های Al^{3+} و H^+ در همتافت تبادل غالب باقی مانده و سبب ایجاد شرایط خنثی و یا حتی قلیایی می‌شوند. ما در این فصل اسیدیته خاک را مورد تأکید بیشتر قرار داده و در فصل ۱۰ خاک‌های شور و سدیمی و مدیریت آن‌ها را مطالعه خواهیم کرد.

قبل از این‌که ما منابع H^+ و OH^- را در طبیعت مورد ملاحظه قرار دهیم به‌طور اختصار مفهوم pH را در تابلو ۱-۹ مرور می‌کنیم زیرا سبب می‌شود روابط متقابل این دو یون را در نظام آب درک کنیم. همچنین در شکل ۱-۹ به مقدار pH بعضی از مواد که روزانه مصرف می‌کنیم، توجه کنید. pH این مواد در تعارض با pH خاک‌های مختلف اسیدی و قلیایی می‌باشد که در این فصل و فصل‌های بعد از آن‌ها صحبت خواهیم کرد.

تابلو ۱-۹ pH خاک، اسیدیته و قلیاییت خاک



اسیدی بودن، خنثی‌بودن و یا قلیایی‌بودن یک خاک به‌وسیله‌ی غلظت نسبی یون‌های H^+ و OH^- تعیین می‌شود. آب خالص دارای مقادیر مساوی از این یون‌ها می‌باشد



$$H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$$

تعادل این واکنش به‌مقدار بسیار زیاد به‌سمت چپ می‌باشد. فقط یک مقدار بی‌نهایت کوچک H^+ و OH^- ازیک مولکول آب تشکیل می‌شود. حاصل‌ضرب غلظت یون H^+ و OH^- ثابت است (Kw)، که در ۲۵ درجه سانتیگراد $۱×۱۰^{-۱۴}$ میباشد.

$$[H]^+ \times [OH]^- = K_W = 10^{-14}$$

از آن‌جاکه غلظت یون‌های هیدروژن $[H]^+$ در آب خالص باید مساوی غلظت یون‌های هیدراکسیل $[OH]^-$ باشد، معادله‌ی فوق نشان می‌دهد که غلظت هر یک از آن‌ها $۱۰^{-۷}$ ($۱۰^{-۱۴} = ۱۰^{-۷} \times ۱۰^{-۷}$) بوده و رابطه‌ی عکسی بین غلظت این دو یون نیز موجود است، زیرا با اضافه‌شدن یکی، دیگری به نسبت کاهش می‌یابد. بنابراین اگر غلظت یون H+ یعنی $[H]^+$ را ده برابر کنیم (از $۱۰^{-۷}$ به $۱۰^{-۶}$) غلظت یون OH یعنی $[OH]^-$، ۱۰ برابر کاهش خواهد یافت (از $۱۰^{-۷}$ به $۱۰^{-۸}$) به‌طوری‌که حاصل‌ضرب غلظت این دو یون باید مساوی $۱۰^{-۱۴}$ باشد:

$$۱۰^{-۶} \times ۱۰^{-۸} = ۱۰^{-۱۴}$$

دانشمندان روش بیان غلظت‌های اندک یون‌های OH^- و H^+ را با استفاده از لگاریتم منفی غلظت H^+ ساده نموده‌اند که به آن pH اطلاق می‌گردد. بنابراین اگر غلظت یون H^+ در یک محیط اسیدی $۱۰^{-۵}$ باشد pH آن محیط ۵ بوده و اگر غلظت H^+ در یک قلیایی $۱۰^{-۹}$ باشد pH آن محیط / ۹ می‌باشد.

توجه کنید که pH همچنین به‌طور مستقیم تعیین‌کننده‌ی غلظت یون‌های OH می‌باشد زیرا حاصل‌ضرب $[OH]$ $[H]^+$ همیشه مساوی $۱۰^{-۱۴}$ است در pH ۵ غلظت یون‌های $[OH]$، $۱۰^{-۹}$ ($۱۰^{-۱۴} = ۱۰^{-۹} \times ۱۰^{-۵}$) و در pH ۸ غلظت $[OH]^-$، $۱۰^{-۶}$ ($۱۰^{-۱۴} = ۱۰^{-۶} \times ۱۰^{-۸}$) است. شکل بالا رابطه بین pH و غلظت یون‌های H^+ و OH^- را نشان می‌دهد. توجه کنید به‌محض این‌که غلظت یکی پایین می‌آید، غلظت دیگری بالا می‌رود و بالعکس. خط بریده شده بیانگر غلظت این دو یون در pH ۶ می‌باشد که در آن $[H]^+$ مساوی $۱۰^{-۶}$ و $[OH]^-$ مساوی $۱۰^{-۸}$ است. این روابط متقابل بین $[OH]^-$ و $[H]^+$ را در مطالعه اسیدیته و قلیاییت خاک باید همیشه در نظر داشته باشیم.

با بیان فنی، واکنش‌های شیمیایی تحت تأثیر فعالیت یون است، نه غلظت آن. و این به‌دلیل اثرات نیروی الکتریسیته ثابت یک یون بر روی فعالیت یون‌های همجوار نزدیک است. فعالیت‌های فنی بنابراین اساساً غلظت‌های مؤثر می‌باشند، از آن‌جاکه قضاوت بین فعالیت‌های یُنی و غلظت آن در خاک خیلی بزرگ نیست، در این کتاب از واژه غلظت استفاده می‌کنیم.

۱-۹ منابع یون‌های هیدروژن [1] و هیدراکسیل

دو کاتیون جذب شده – هیدروژن و آلومینیوم – عمدتاً مسؤول اسیدیته خاک می‌باشند. سازوکاری که این دو کاتیون به‌وسیله‌ی آن تأثیر خود را اعمال می‌کنند، در ارتباط با درجه اسیدیته و منبع و سرشت کلوییدهای خاک می‌باشد.

[1] - یون‌های هیدروژن در آب همیشه به‌صورت آب‌دار بوده و بیشتر به‌صورت یون هیدرونیوم H_3O^+ می‌باشند تا یون H^+. هرچند برای سهولت در این کتاب یون H^+ غیرهیدراته را برای معرفی این یون مورد استفاده قرار می‌دهد.

خاک‌های دارای اسیدیته‌ی شدید

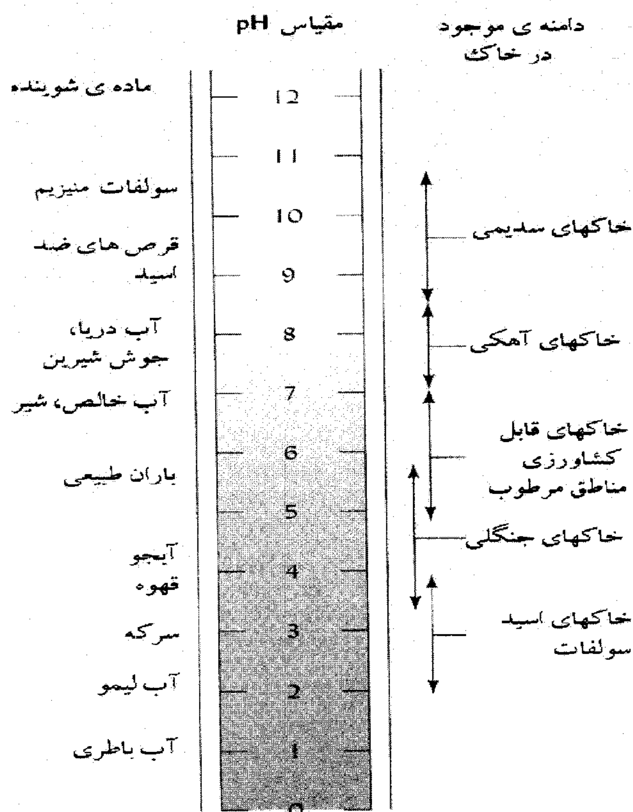
در خاک‌های خیلی اسیدی (pH کمتر از ۵) بیشتر آلومینیوم[1] به‌صورت محلول درآمده (شکل۲-۹)، که یا با ماده‌ی آلی موجود پیوند شدید پیدا کرده و یا به‌صورت کاتیون‌های آلومینیوم و یا هیدراکسید آلومینیوم وجود دارد. این ین‌های قابل‌تبادل در مقایسه با ین‌های دیگر بهتر جذب بارهای منفی کلوییدهای خاک می‌شود.

آلومینیوم جذب‌شده با عرضه‌ی ین آلومینیوم به محلول خاک سبب اسیدی‌شدن خاک می‌شود این ین‌های محلول آبکافت(هیدرولیز) شده و تولید ین H^+ می‌کنند.



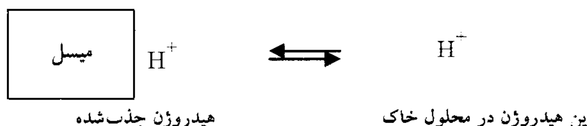
$$Al^{3+} + H_2O \rightleftharpoons Al(OH)^{2+} + H^+$$

این آبکافت سبب پایین‌آمدن pH محلول خاک و منبع عمده‌ی ین H^+ در اکثر خاک‌های اسیدی می‌باشد.



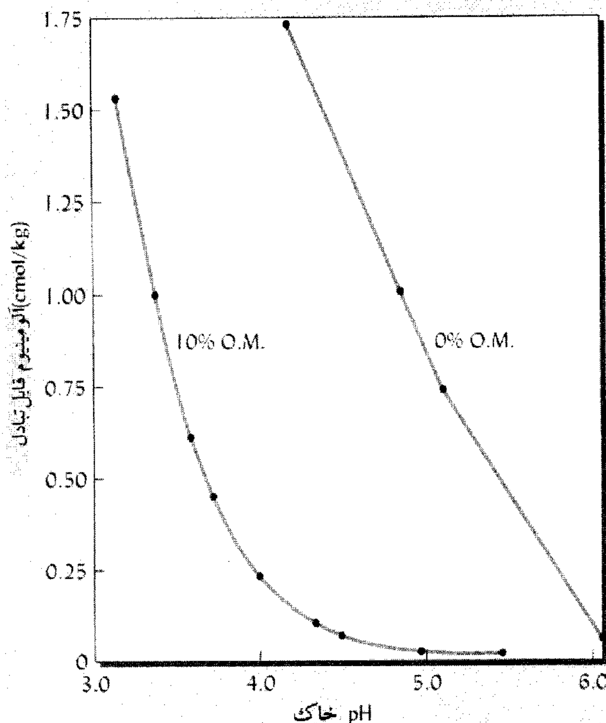
شکل۱-۹ فهرستی که نشان‌دهنده‌ی حدود تغییرات pH از ۱ تا ۱۲ و pH تقریبی محصولاتی است که در جامعه هر روزه مصرف می‌شوند (چپ). pHهای قابل‌مقایسه خاک‌ها که دراین کتاب مطالعه خواهیم کرد در سمت راست نشان داده شده است.

بیشتر هیدروژن در خاک‌های خیلی اسیدی همراه با مقداری آهن وآلومینیوم با پیوندهای کووالانسی چنان به ماده‌ی آلی و لبه بلورهای رس محکم شده‌اند که فقط تا حد کمی در اسیدیته‌ی محلول خاک دخیل می‌باشد (فصل۹-۸ را مشاهده کنید). فقط درگروه‌های خیلی اسیدی هموس و بعضی از محل‌های تبادل بار دایم رس‌ها ین‌های H^+ به‌صورت قابل‌تبادل وجود دارند. این ین‌های اندک H^+ در تعادل با محلول خاک می‌باشند:



بنابراین می‌توان مشاهده کرد که اثر هر دو ین جذب‌شده‌ی هیدروژن و آلومینیوم افزایش غلظت+H در محلول خاک است.

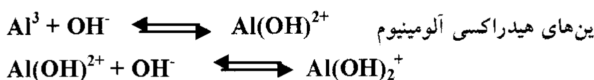
[1] - همچنین ین Fe^{3+} در شرایط اسیدی محلول گردیده و تشکیل کاتیون‌های هیدراته، درست مثل آلومینیوم می‌دهد هر چند چون آهن در شرایط خیلی اسیدی محلول می‌شود فقط حضور آلومینیوم مورد ملاحظه قرار خواهد گرفت.



شکل ۲-۹ اثر pH خاک بر آلومینیوم قابل‌تبادل در یک مخلوط خاک و شن (صفر درصد ماده‌ی آلی) و یک مخلوط خاک وپیت(۱۰ درصد ماده‌ی آلی)، ظاهراً ماده‌ی آلی سبب پیوند آلومینیوم در شکل غیرقابل‌تبادل می‌گردد. این اثرات متقابل ماده‌ی آلی و آلومینیوم دلیل رشد بهتر گیاهان در خاک‌های اسیدی دارای ماده‌ی آلی زیاد است.

خاک‌های دارای اسیدیته‌ی متوسط

ترکیبات آلومینیوم و هیدروژن همچنین علّت وجود یون‌های H^+ محلول خاک در خاک‌های دارای اسیدیته‌ی متوسط (pH در بین ۵ و ۶/۵) اما با سازوکار دیگری می‌باشند. در این دامنه دیگرآلومینیوم به‌صورت Al^{3+} وجود نداشته امّا تبدیل به یون‌های هیدراکسی آلومینیوم* با واکنش‌هایی مشابه زیر شده است:



$$Al^{3} + OH^{-} \rightleftarrows Al(OH)^{2+}$$ یون‌های هیدراکسی آلومینیوم

$$Al(OH)^{2+} + OH^{-} \rightleftarrows Al(OH)_2^{+}$$

بسیاری از یون‌های هیدراکسی آلومینیوم جذب شده و همانند کاتیون‌های قابل‌تبادل عمل می‌کنند. و بنابراین، آن‌ها ممکن است با محلول خاک همانند یون‌های Al^{3+}** در خاک‌های خیلی اسیدی در تعادل باشند. در محلول خاک آن‌ها در طی واکنش‌های آبکافت به‌صورت زیر یون هیدروژن تولید کنند.



$$Al(OH)^{2+} + H_2O \rightleftarrows Al(OH)_2^{+} + H^{+}$$

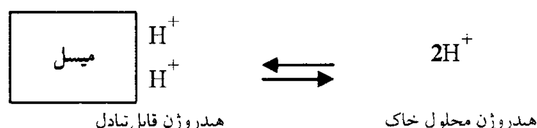
$$Al(OH)_2^{+} + H_2O \rightleftarrows Al(OH)_3 + H^{+}$$

در بعضی از رس‌های نوع ۲:۱ به‌خصوص ورمی‌کولیت یون‌های هیدراکسی آلومینیوم (همین‌طور هیدراکسی آهن) نقش دیگری را ایفاء می‌کنند. آن‌ها به‌داخل فضای بین لایه‌ای واحد بلور حرکت کرده و به‌شدت جذب شده، و از انبساط بین بلورها ممانعت کرده و بعضی از محل‌های تبادل را قفل می‌کنند. بالابردن pH خاک سبب جداشدن این یون‌ها و آزادنمودن بعضی از محل‌های تبادل می‌شود. بنابراین، یون‌های هیدراکسی آلومینیوم (و آهن) تا اندازه‌ای مسؤول بار وابسته به pH (یا بار منفی) در کلوییدهای خاک می‌باشند (فصل ۹-۸ را مشاهده کنید).

در خاک‌ها با اسیدیته‌ی متوسط بعضی از یون‌های هیدروژن که در pH پایین به‌طور محکم در پیوند کووالانس با ماده‌ی آلی و اکسیدهای آهن و آلومینیوم و رس‌های ۱:۱ قرار گرفته بودند، در اشکال قابل‌تبادل می‌باشند. درنتیجه محل‌های بار منفی بیشتری در روی میسل برای بالابردن ظرفیت تبادل کاتیونی موجود خواهد بود. یون‌های (H^+) قابل‌تبادل در تعادل با یون‌های H^+ محلول می‌باشد.

* - یون‌های واقعی هیدراکسی آلومینیوم بسیار پیچیده‌تر از آن‌هایی هستند که تا حال نشان داده‌ایم. فرمول‌هایی مانند $[Al_6(OH)_{12}]^{6+}$ و $[Al_{10}(OH)_{22}]$ نمونه‌های از این یون‌های خیلی غامض می‌باشند.

** - همانند بسیاری از کاتیون‌های فلزی در خاک، یون Al^{3} درواقع به‌شدت هیدراته بوده و به‌صورت $Al(H_2O)_6^{3+}$ می‌باشد به‌خاطر سادگی این یون به‌صورت Al^{3+} نشان داده‌می‌شود



در این‌جا نیز تنظیم اسیدیته به‌وسیله‌ی کلوییدهای خاک و همچنین نقش غالب یون‌های هیدروژن و آلومینیوم، به‌نمایش گذاشته شده‌است.

خاک‌های خنثی تا قلیایی (pH ۷ و بالاتر)

در خاک‌ها با pH بالاتر از ۷ بیشتر محل‌های بار متغیر خالی می‌باشد. یون‌های +H و هیدراکسی آلومینیوم از اشکال پیوندی خارج شده‌اند. همتافت تبادلی این خاک‌های خنثی تا قلیایی عمدتاً به‌وسیله‌ی یون‌های قابل‌تبادل Ca^{2+} و Mg^{2+} و سایر کاتیون‌های بازی غالب شده است. یون‌های هیدراکسی آلومینیوم و H^+ هر دو به‌طور عمده جایگزین شده‌اند. بیشتر یون‌های هیدراکسی آلومینیوم در طی واکنشی مانند زیر به گیبسیت تبدیل شده‌اند.



$$Al(OH)_2^+ + OH^- \longrightarrow Al(OH)_3$$ گیبسیت نامحلول

یون‌های قابل‌تبادل H^+ به‌وسیله‌ی کاتیون‌های بازی آزاد شده و به‌داخل محلول خاک حرکت نموده و در آن‌جا با OH^+ وارد واکنش شده و به آب تبدیل می‌شود.

pH خاک و همراهی کاتیون‌ها

شکل ۳-۹ اثر pH را بر توزیع یون‌ها در خاکی که دارای کلوییدهای دارای بار متغییر است خلاصه می‌کند توجه داشته باشید که ظرفیت تبادل کاتیونی با افزایش pH زیاد می‌شود. همچنین به غلبه کاتیون‌ها در همتافت تبادل در خاک‌های خیلی اسیدی، اسیدی متوسط و خنثی و بالاتر توجه کنید. این شکل را به‌دقت مطالعه کرده و در خاطر داشته باشید که برای هر خاک، توزیع یون‌ها تا حدّی متفاوت است.

اثر pH در توزیع Ca^{2+} و Mg^{2+} و سایر کاتیون‌های بازی و یون‌های H^+ و Al^{3+} در یک خاک آلی (خاک ماک) و در یک خاک با غالبیت رس‌های ۲:۱ در شکل ٤-۹ نشان داده شده است. توجه داشته باشید که بار دایم در همتافت تبادل خاک‌های معدنی غالب می‌باشد، درحالی‌که بارهای وابسته به pH بخش اعظم جذب را در خاک آلی تشکیل می‌دهد، بنابراین ظرفیت تبادل خاک آلی با پایین‌آمدن pH به‌شدت کاهش می‌یابد، درحالی‌که در مورد رس‌های نوع۲:۱ این چنین کاهش اندک است. اثر pH بر روی ظرفیت تبادل کاتیونی کائولینیت و رس‌های مربوطه مشابه آن‌چیزی است که به‌وسیله‌ی ماده‌ی آلی نشان داده شده است.

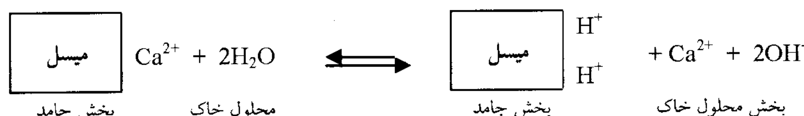
توجه داشته باشید که در شکل‌های ۳-۹ و ٤-۹ دو نوع هیدروژن و آلومینیوم نشان داده شده است : ۱) آن‌ها که به‌وسیله‌ی محل‌های تبادل وابسته به pH به‌شدت نگهداری شده‌اند (پیوند یافته) و ۲) آن‌ها که با بار منفی دایم بر روی کلویید همراه می‌باشند (قابل‌تبادل). فقط یون‌های قابل‌تبادل دارای اثر فوری بر روی pH می‌باشند، امّا همان‌طورکه بعداً خواهیم دید، هر دو نوع در تعیین مقدار آهک و گوگرد لازم برای تغییر pH خیلی دخیلند (فصل ۲-۹ را مشاهده کنید)

درحالی‌که عوامل مؤثر در اسیدیته‌ی خاک چندان ساده نمی‌باشند، دو گروه غالب از عناصر مشخصند، یون‌های H^+ و دیگر یون‌های دارای آلومینیوم ($Al(H_2O)^{3+}$, Al^{3+} و غیره) سبب ایجاد اسیدیته می‌شوند و اکثر کاتیون‌های دیگر با آن‌ها در مقابله می‌باشند، به‌خاطرسپردن این توضیح ساده ارزشمند می‌باشد.

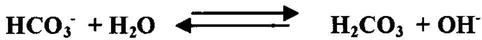
منبع یون‌های هیدراکسید

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، کاتیون‌های بازی در همتافت کلوییدی خاک غالب می‌باشند. این کاتیون‌های جذب‌شده به دو طریق سبب بالارفتن غلظت یون OH^- در محلول خاک می‌شوند. اول آن‌ها جایگزین هیدروژن و آلومینیوم قابل‌تبادل که منابع اصلی یون هیدروژن همان‌طورکه قبلاً تشریح شد، می‌باشند، و این سبب کاهش یون H^+ و افزایش یون OH^- معادل آن می‌گردد، زیرا رابطه‌ی معکوس بین یون‌های H^+ و OH^- در محلول‌های بازی وجود دارد.

یون‌های K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+} و Na^+ دارای اثر دوم مستقیم‌تر بر غلظت یون OH^- در محلول خاک می‌باشند آبکافت کلوییدهای اشباع‌شده با این کاتیون‌ها سبب آزادسدن یون OH^- به‌طریق زیر می‌شود:

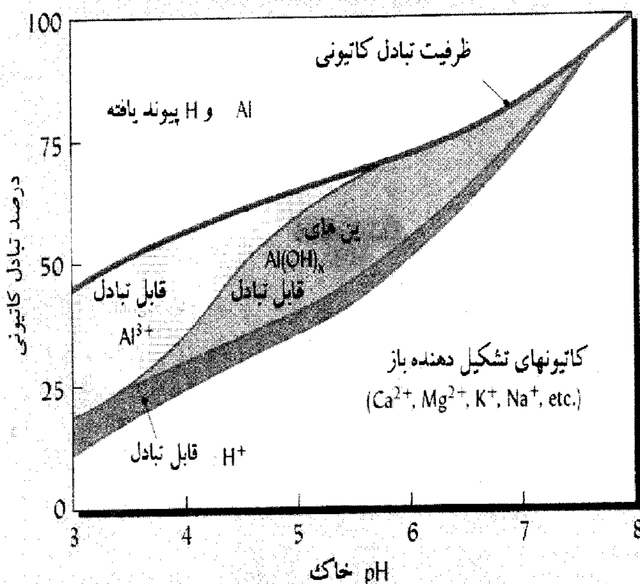


در بعضی خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک کربنات‌ها و بی‌کربنات‌های بعضی از کاتیون‌ها تمایل دارند حتی در افق‌های سطحی تمرکزیابنده این ترکیبات سومین وسیله را برای افزایش یون‌های -OH ارائه می‌دهند. آن‌ها براثر واکنش زیر در معرض آبکافت می‌باشند :

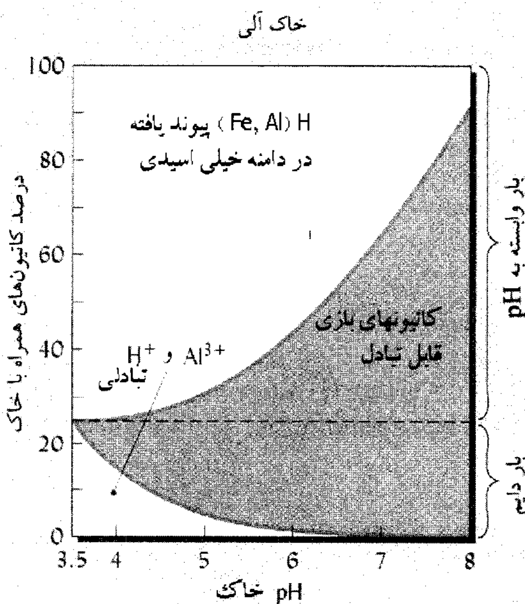


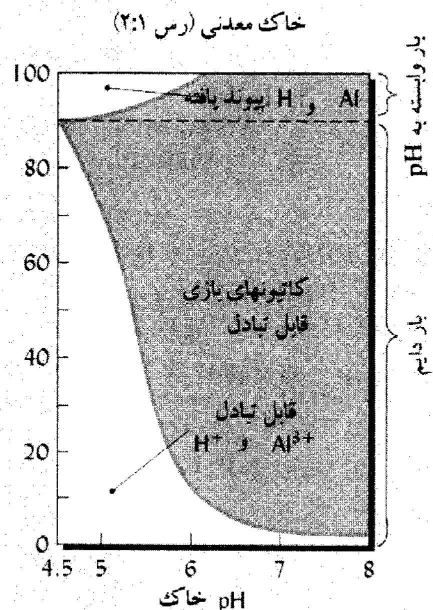
$$HCO_3^- + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 + OH^-$$

در مقادیر بالای pH (۸<) این واکنش‌ها حاصل می‌شود، به‌خصوص اگر بی‌کربنات سدیم حضور داشته باشد. کربنات‌ها در بخش ۱-۱۰ در جزییات مورد توجه قرار خواهند گرفت.



شکل ۳-۹ رابطه‌ی کلی بین pH خاک و کاتیون‌های نگهداری شده به‌صورت قابل‌تبادل و یا کاتیون‌های در پیوند با ماده‌ی آلی و کانی‌های رسی. ظرفیت تبادل کاتیونی با استفاده از داده‌های متوسط ۶۰ نوع خاک ایالت ویسکانسین برآورد شده است. به شواهد بار متغیر کلویید توجه کنید، زیرا با افزایش pH، CEC نیز افزایش یافت. مقادیر احتمالی کاتیون‌های قابل‌تبادل و پیوند یافته (غیرقابل‌تبادل) نشان داده شده است. در شرایط خیلی اسیدی، یون‌های قابل‌تبادل هیدروژن و آلومینیوم و یون‌های پیوندیافته H^+ و Al^{3+} غالب می‌باشد. در مقادیر pH بالا کاتیون‌های بازی غالب بوده و در pH متوسط یون‌های هیدروکسی آلومینیوم مانند $Al(OH)^{2+}$ غالب می‌باشند. این نمودار نشان‌دهنده شرایط خاص می‌باشد. هر خاک به‌خصوص احتمالا یک توزیع دیگری را از این یون‌ها ارایه می‌دهد.





شکل ٤-۹ رابطه‌ی بین pH و هیدروژن، آلومینیوم و کاتیون‌های بازی همراه با یک خاک آلی (ماک) و یک خاک معدنی با غالبیت رس‌های سیلیکاتی نوع۲:۱، به غالبیت بار دایم در یک خاک معدنی، و بار وابسته به pH در خاک آلی توجه کنید. CEC خاک آلی (جمع تمام یون‌های قابل‌تبادل) با پایین آمدن pH به‌سرعت کاهش یافت.

۹-۲ طبقه‌بندی اسیدیته‌ی خاک

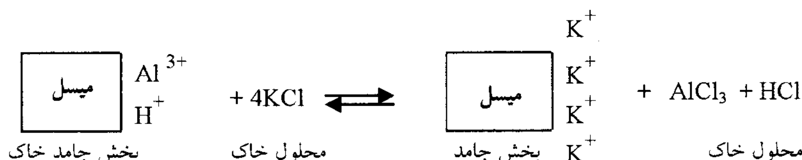
پژوهش سه منبع اسیدیته را مطرح می‌کند: (۱)اسیدیته‌ی فعال[1] ناشی از یون‌های H^+ و Al^{3+} در محلول خاک (۲) اسیدیته‌ی قابل جایگزینی[2] به‌وسیله‌ی نمک‌ها، شامل هیدروژن و آلومینیوم که به‌وسیله‌ی سایر کاتیون‌های موجود در یک محلول غیربافر خاک مانند KCl به آسانی قابل‌تبادل باشند(۳)اسیدیته باقی‌مانده[3] که می‌تواند به‌وسیله‌ی آهک و یا سایر مواد آهکی خنثی گردد، امّا نمی‌تواند به‌وسیله‌ی سازوکار جایگزینی نمک‌ها ردیابی شود. مجموع این انواع اسیدیته، اسیدیته‌ی کل خاک را تشکیل می‌دهد.

اسیدیته فعال

اسیدیته‌ی فعال معیاری از فعالیت یون‌H+ در محلول خاک در هر زمان مورد نظر می‌باشد، که عمدتاً براثر آبکافت یون‌های دارای آلومینیوم ایجاد می‌شود. هرچند مقدار یون H+ مربوط به اسیدیته فعال در مقایسه با اشکال قابل‌تبادل و باقی‌مانده بسیار اندک است. برای مثال فقط حدود ۲ کیلوگرم کربنات کلسیم برای خنثی‌کردن اسیدیته‌ی فعال در ۱۵ سانتی‌متر فوقانی یک هکتار خاک معدنی معمولی در pH ٤ با ۲۰ درصد رطوبت لازم است. با این وجود اسیدیته فعال بی‌نهایت مهّم است زیرا محلول خاک محیطی است که در آن ریشه گیاهان و ریزجانداران خاک قرار دارند.

اسیدیته‌ی قابل‌جایگزینی به‌وسیله‌ی نمک‌ها (قابل‌تبادل)

این نوع اسیدیته اساساً در ارتباط با یون‌های قابل‌تبادل آلومینیوم و هیدروژن می‌باشد، که در خاک‌های اسیدی در بیشترین مقدار وجود دارند (شکل‌۳-۹). این یون‌ها می‌توانند به‌وسیله‌ی یک نمک غیربافری مانند KCl به‌داخل محلول خاک آزاد شوند.

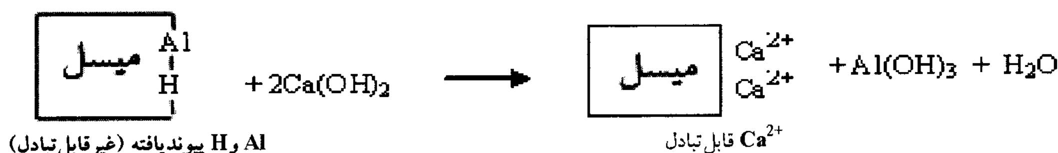


معادل شیمیایی اسیدیته‌ی قابل جایگزینی به‌وسیله‌ی نمک‌ها در خاک‌های خیلی اسیدی معمولاً هزاران برابر اسیدیته فعال در محلول خاک می‌باشد. حتی در خاک‌های اسیدی متوسط که مقدار آلومینیوم و هیدروژن قابل‌تبادل کاملاً محدود است، میزان آهک مورد نیاز برای خنثی‌کردن این نوع اسیدیته معمولاً ۱۰۰ بار بیشتر از اسیدیته محلول خاک (اسیدیته فعال) می‌باشد.

در یک pH معین، اسیدیته‌ی قابل‌تبادل معمولاً برای اسمکتیت بالاترین، برای ورمی‌کولیت متوسط و برای کائولینیت کمترین است. در هر حال این اسیدیته بخش کوچکی از اسیدیته کل خاک را همان‌طورکه بخش بعدی مشخص خواهد کرد، تشکیل می‌دهد.

اسیدیته‌ی باقی‌مانده

معمولاً مربوط به یون‌های هیدراکسی آلومینیوم و یون‌های هیدروژن و آلومینیوم پیوند یافته در اشکال غیرقابل‌تبادل به‌وسیله‌ی مواد آلی و رس‌های سیلیکاتی می‌باشد (شکل‌۳-۹ را مشاهده کنید). با افزایش pH این پیوند هیدروژن و آلومینیوم رها شده، و بنابراین، محل‌های منفی تبادل کاتیونی آزاد می‌شوند، و ظرفیت تبادل کاتیونی بالا می‌رود. واکنش با مواد آهکی $[Ca(OH)_2]$ نشان می‌دهد که چگونه پیوند هیدروژن و آلومینیوم آزاد می‌شود.



اسیدیته‌ی باقی‌مانده معمولاً به‌مراتب بیشتر از اسیدیته فعال و اسیدیته‌ی قابل‌جایگزینی به‌وسیله‌ی نمک‌ها (قابل‌تبادل)، می‌باشد. برآوردهای محتاطانه اسیدیته‌ی باقی‌مانده را ۱۰۰۰ برابر اسیدیته فعال در یک خاک شنی و ۵۰۰۰۰ و حتی ۱۰۰۰۰۰ برابر در یک خاک رسی غنی از ماده‌ی آلی مطرح می‌کنند. مقدار سنگ‌آهک آسیاب‌شده لازم برای خنثی‌کردن حداقل بخشی از اسیدیته باقی‌مانده در ۱۵ سانتی‌متر

1- Active acidity
2- Salt replaceable acidity
3- Residual acidity

فوقانی خاک، معمولاً ۱۰-۵ تن متریک (مگاگرم) در هکتاری باشد. بنابراین روشن است که pH محلول خاک برای تعیین مقدار آهک لازم در اصلاح خاک‌های اسیدی همانند قله آشکار برای بیان حجم کوه یخی می‌باشد.

۳-۹ تنظیم کلوییدی واکنش خاک

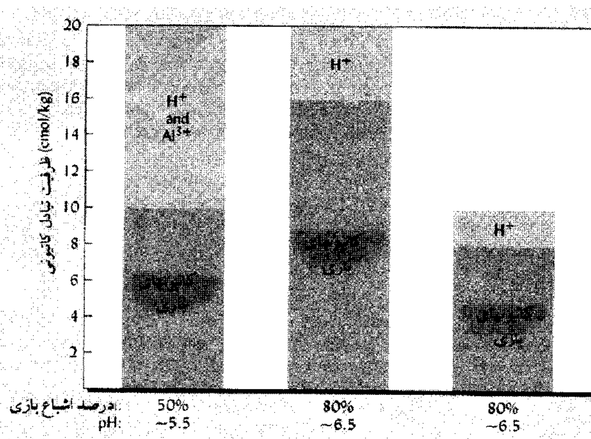
فصول قبلی به روشنی مطرح نمودند که بخش ریز خاک (رس‌ها) نقش برجسته‌ایی در تنظیم pH خاک دارد. در دامنه‌ی تغییرات pH در اکثر خاک‌های حاصلخیز (۷/۵- ۵/۵) تنظیم از راه‌های (۱) درصد اشباع بازی، (۲) سرشت میسل‌های خاک، (۳) انواع کاتیون‌های بازی جذب شده و (٤) میزان نمک‌ها در محلول خاک اعمال می‌شود. هر کدام از این عوامل مختصراً مورد بحث قرار می‌گیرد.

درصد اشباع بازی

عبارتست از درصدی از CEC که از کاتیون‌های بازی تشکیل شده باشد.[1]

$$\text{اشباع بازی٪} = \frac{\text{کاتیون‌های بازی قابل‌تبادل}(Cmol_c/Kg)}{\text{ظرفیت تبادل کاتیونی}(Cmol_c/Kg)} \times ۱۰۰$$

در خاک‌ها دارای انواع رس و ماده‌ی آلی یکسان، درصد اشباع بازی مستقیماً در ارتباط با pH خاک است. اگر خاک اصلی اسیدی باشد مقدار آن کم و درصورت افزایش pH مقدار آن نیز بیشتر می‌شود (شکل۵-۹). توجه کنید که خاک لوم رسی در شکل ۵-۹ با CEC نسبتاً زیاد در pH ۵/۵ دارای کاتیون‌های بازی بیشتری درمقایسه با یک لوم شنی در pH ۶/۵ می‌باشد.



شکل ۵-۹ سه خاک با نوع کلویید مشابه اما درصد اشباع بازی ۵۰، ۸۰ و ۸۰ که به‌ترتیب اولی، لوم رسی (سمت چپ) با CEC ۲۰ cmol/Kg، دومی(وسط) همان خاک اوّلی است که به‌دلخواه آهک داده شده است و سومی (سمت راست)، یک خاک لوم شنی با CEC ۱۰ سانتی‌مول بار در کیلوگرم. توجه داشته باشید که pH خاک کم‌وبیش دارای ارتباط نزدیکی با درصد اشباع بازی می‌باشد. همچنین توجه داشته باشید خاک لوم شنی (راست) در مقایسه با خاک لوم رسی اسیدی (سمت چپ) که رس آن دارای کاتیون بازی قابل‌تبادل بیشتری نیز هست دارای pH بالاتری می‌باشد.

سرشت کلویید (میسل)

تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای در pH کلوییدهای مختلف درصد اشباع بازی یکسان وجود دارد و این به‌خاطر اختلاف در توانایی آن‌ها برای ارائه یِن هیدروژن در محلول خاک می‌باشد. برای مثال آزادشدن میزان یِن H^+ جذب‌شده در رس‌های اسمکتیت بسیاربالاتر از رس‌های اکسیدهای آهن و آلومینیوم می‌باشد. بنابراین pH خاک های دارای رس اسمکتیت در همان درصد اشباع بازی به مراتب کمتر از اکسیدهای آهن و آلومینیوم است. رهاشدن هیدروژن جذب‌شده از رس‌های سیلیکاتی نوع ۱:۱ و مواد آلی در حدواسط اسمکتیت و اکسیدهای آهن و آلومینیوم می‌باشد.

نوع کاتیون بازی

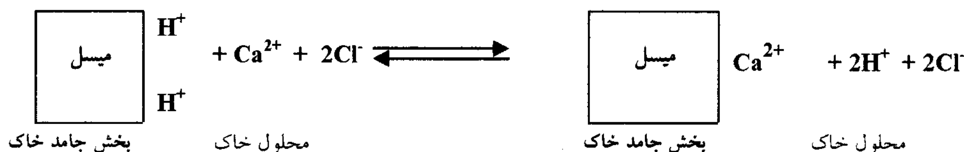
مقدار نسبی هر یک از کاتیون‌های بازی موجود در همتافت کلوییدی فاکتور مؤثر دیگری در pH خاک می‌باشد. خاک‌ها با اشباع سدیم بالا دارای مقادیر pH بالاتری از خاک‌ها با غالبیت کلسیم و منیزیم می‌باشند بعضی از خاک‌های قلیایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک دارای درصد اشباع سدیم قابل توجهی می‌باشند این مسأله در فصل دهم مورد ملاحظه قرار خواهد گرفت.

---

[1] - مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) که برای محاسبه‌ی درصد اشباع بازی به‌کار می‌رود، معمولاً در pH ۷ یا ۸ که بار منفی و درنتیجه CEC بیشینه یا نزدیک بیشینه است، اندازه‌گیری می‌شود. گرچه در خاک‌های اسیدی با مقدار قابل‌توجهی از کلوییدهای دارای بار متغیر، CEC واقعی در هر نقطه از مزرعه به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای پایین است و به‌نوبه‌ی خود، درصد اشباع بازی از آن‌چه که در مقادیر pH بالا اندازه‌گیری می‌شود، به‌مراتب بیشتر است.

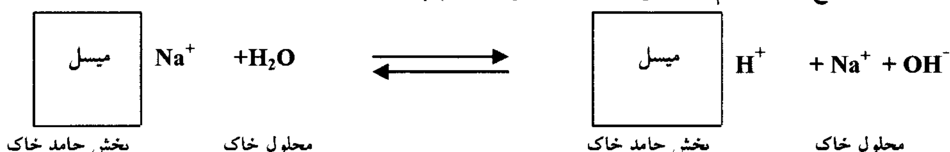
نمک‌های خنثی در محلول خاک

حضور نمک‌های خنثی مانند سولفات‌ها و کلریدهای سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم سبب افزایش فعالیت ین H+ در محلول، و درنتیجه پایین آوردن pH خاک می‌گردد. برای مثال اگر CaCl2 به یک خاک نسبتاً اسیدی اضافه شود میزان ین H+ در محلول خاک افزایش می‌یابد.



حضور نمک‌های خنثی در بعضی از خاک‌های قلیایی نیز سبب پایین‌آوردن pH، اما طی سازوکار دیگری می‌شود (فصل ٤-١٠ را مشاهده کنید).

در خاک‌های قلیایی نمک‌ها سبب کاهش آبکافت کلوییدهای اشباع از کاتیون‌های سدیم می‌گردد، بنابراین حضور کلرور سدیم (NaCl) در یک خاک با نسبت اشباع بالای سدیم سبب می‌شوند که واکنش زیر به چپ برگردد:

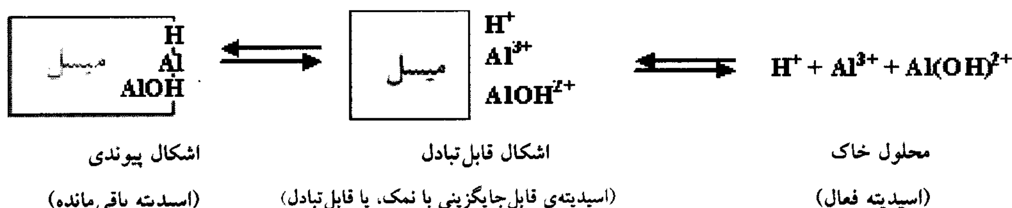


ین Na موجود در نمک سبب راندن واکنش به سمت چپ گردیده و سبب کاهش غلظت ین OH^- در محلول خاک، و پایین‌آوردن pH می‌شود. این واکنش دارای ارزش عملی زیادی در بعضی خاک‌های قلیایی مناطق خشک می‌باشد، زیرا از بالا رفتن pH به حدود سمی برای گیاهان ممانعت می‌کند.

از آن‌جاکه واکنش محلول تحت تأثیر چهار عامل نسبتاً مستقل ذکر شده فوق می‌باشد، یک رابطه نزدیک را نباید بین درصد اشباع و pH هنگام مقایسه خاک‌های خیلی متنوع انتظار داشت. گرچه در خاک‌ها با منشاء، بافت و کربن آلی مشابه یک رابطه نسبتاً خوب موجود است.

٤-۹ خاصیت بافری خاک

همان‌طورکه قبلاً بیان گردید، خاک‌ها تمایل دارند که در مقابل تغییرات pH محلول خاک مقاومت کنند این مقاومت بافری‌بودن[1] خاک نامیده می‌شود. در خاک‌ها با pH متوسط، بافربودن را می‌توان در قالب تعادل موجود بین اسیدیته فعال، قابل‌تبادل و باقی‌مانده تشریح نمود (شکل٦-۹ رامشاهده کنید) این روابط کلی می‌تواند به‌شرح زیر تشریح شود:



اگر مقدار کافی آهک (باز) فقط برای خنثی‌کردن ین‌های هیدروژن در محلول خاک مصرف شود، با حرکت واکنش فوق به سمت راست این هیدروژن جبران خواهد شد. و بنابراین تغییر در pH محلول خاک، کمینه مقدار خواهد شد (شکل ۷-۹). به‌همین‌ترتیب، اگر غلظت ین‌های هیدروژن (H+) محلول خاک (برای مثال) براثر تجزیه‌ی مواد آلی و یا اضافه‌کردن کودهای شیمیایی افزایش یابد، واکنش را به‌سمت چپ خواهد راند، و بدین‌ترتیب تغییرات pH محلول خاک را دوباره به حداقل خواهد رساند. در هر دو مورد در خاک‌های دارای اسیدیته‌ی متوسط، مشاهده می‌شود که بافری‌بودن تحت تأثیر واکنش با همتافت تبادل کاتیونی می‌باشد.

در خاک‌های خیلی اسیدی واکنش‌های تعادلی که شامل ین‌های هیدراکسی آلومینیوم و آهن است، دومین سازوکار مهم دیگر در مقاومت خاک به تغییرات pH می‌باشد، واکنش‌های همانند زیر صورت می‌گیرد:

[1]- Soil buffering



$$Al(OH)^{+2} + H_2O \rightleftharpoons Al(OH)_2^{+} + H^{+}$$



$$Al(OH)_2^{+} + H_2O \rightleftharpoons Al(OH)_3 + H^{+}$$

اضافه‌کردن یون H^+ سبب راندن واکنش به چپ گردیده، و بنابراین یون‌های H^+ اندکی در محلول خاک تمرکز یافته و PH اندکی کاهش پیدا خواهد کرد به‌همین‌ترتیب اضافه‌کردن یون‌های OH^- سبب راندن واکنش به راست خواهد شد در هر دو حالت تغییر در pH محلول خاک کوچک بوده و به‌عبارت دیگر بافری‌شدن صورت خواهد گرفت.

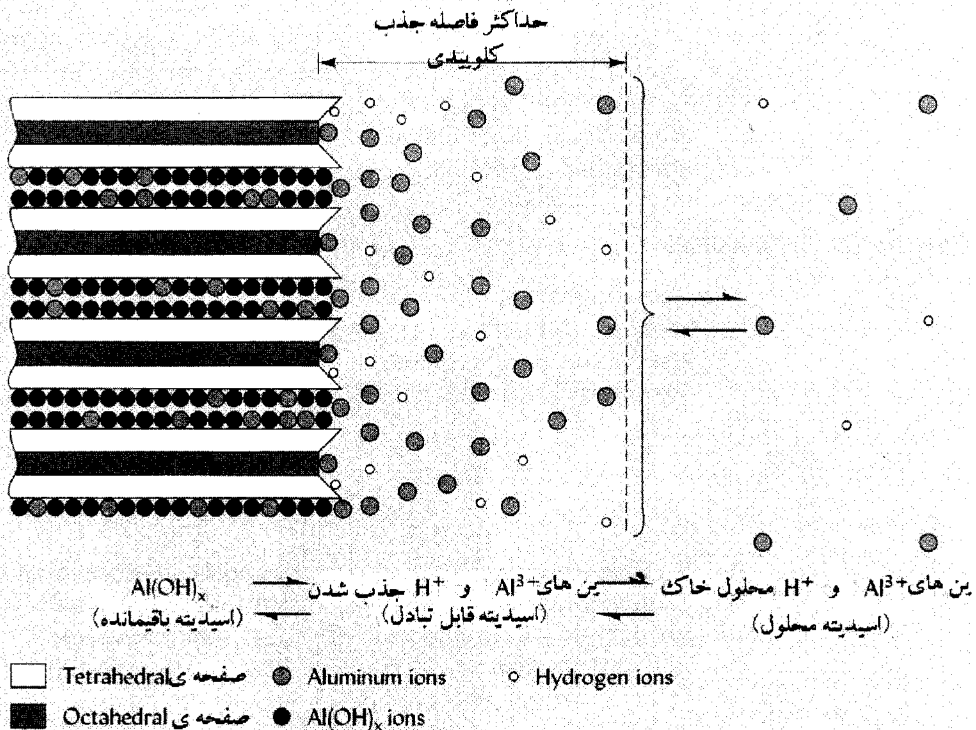
واکنش‌های بافری مشابهی شامل کربنات‌ها، بی‌کربنات‌ها، اسیدکربنیک و آب در خاک‌های قلیایی صورت می‌گیرد.



$$CaCO_3 + H_2CO_3 \rightleftharpoons Ca(HCO_3)_2$$



$$Ca(HCO_3)_2 + H_2O \rightleftharpoons Ca^{2+} + 2OH^- + 2H_2CO_3$$



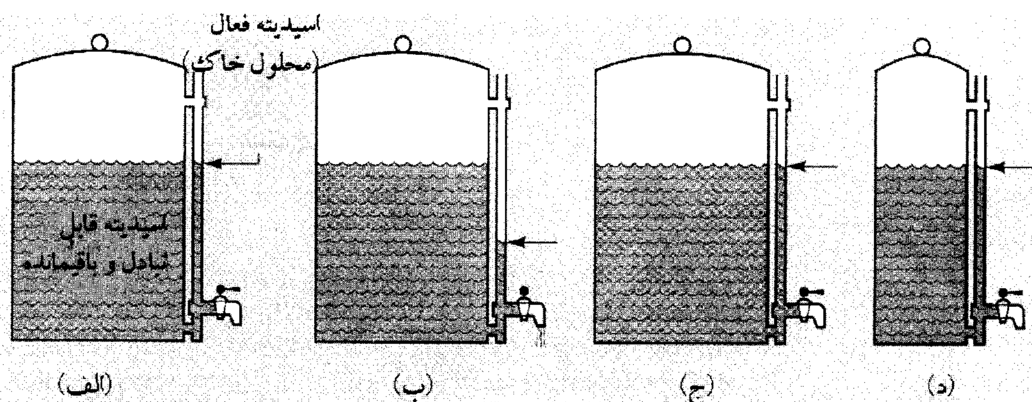
شکل ٦-٩ روابط تعادلی بین اسیدیته باقی‌مانده، قابل‌تبادل و فعال درکلویید ۲:۱. توجه کنید که یون‌های جذب شده و باقی‌مانده بسیار فراوان‌تر از یون‌های محلول خاک هستند گرچه حتی فقط بخش کوچکی از بلور رس نشان داده شده است. یون‌های Al(OH)X با شدت زیادی در فضای داخلی نگهداری شده‌اند و قابل‌تبادل نمی‌باشند. به‌خاطر داشته باشید که یون‌های آلومینیوم با آبکافت، یون‌های هیدروژن در محلول خاک عرضه می‌کنند آشکار است که خنثی‌کردن فقط یون‌های آلومینیوم و هیدروژن در محلول خاک دارای پیامد اندکی می‌باشد زیرا آن‌ها به‌سرعت به‌وسیله‌ی آزادشدن یون‌های کلویید جایگزین می‌شوند. خاک بنابراین ظرفیت بافری بالایی را به نمایش می‌گذارد.

افزودن یون H^+ سبب راندن واکنش به سمت راست شده درصورتی‌که افزایش یون‌های OH^- سبب راندن واکنش به سمت چپ می‌شود. در هرحال مقاومت در مقابل تغییرات pH (بافری‌شدن) صورت می‌گیرد. بنابراین در سرتاسر دامنه‌ی pH سازوکارهایی برای بافری‌نمودن محلول خاک و مقاومت در مقابل تغییرات سریع pH وجود دارد.

ما به سه سازوکار اصلی برای بافری‌بودن خاک پی بردیم (۱)واکنش با ترکیبات آلومینیوم در pH پایین (۲)تبادل کاتیونی در pH متوسط (۳)واکنش با کربنات‌ها در pH بالا. دامنه pH و درصد اشباع بازی که این سه سازوکار در یک گروه از خاک‌ها مؤثر می‌باشند در شکل ۸-۹ نشان داده شده است. درحالی‌که روابط واقعی pH و BS خاک به خاک تفاوت دارد، این سه راه‌کار اصلی بافری معمولاً وجود دارند.

اهمیت بافری[1] بودن خاک

بافری‌بودن خاک به دو دلیل اساسی مهّم می‌باشد. اوّل آن‌که این خصوصیت پایداری اسیدیته‌ی خاک را تضمین نموده و از نوسانات شدید آن، که برای گیاهان و ریزجانداران مهلک است، جلوگیری می‌کند. برای نمونه، خاک‌های دارای ظرفیت بافری خوب در مقابل اثرات اسیدی‌شدن باران‌های اسیدی در خاک و زهاب مقاومت می‌کنند. دوّم آن‌که خاصیت بافری در مقدار مواد اصلاحی مانند آهک و گوگرد، که برای تغییر مورد نظر در pH خاک لازم می‌باشند مؤثر است.



شکل ۷-۹ عمل بافری یک خاک می‌تواند به کار یک قهوه‌جوش تشبیه گردد. (الف) اسیدیته فعال که به‌وسیله‌ی قهوه در لوله نشانگر در خارج از مخزن معرفی می‌شود، از نظر مقدار کم می‌باشد. (ب) وقتی ین‌های هیدروژن مصرف شدند، این اسیدیته فعال به‌سرعت پایین می‌آید. (ج) اسیدیته فعال با حرکت از اسیدیته‌ی قابل‌تبادل و باقی‌مانده به‌سرعت تا سطح اولیه جبران می‌شود. با این فرایند، مقاومت قابل‌ملاحظه‌ای در مقابل تغییر اسیدیته‌ی فعال به‌عمل خواهد آمد. خاک دیگر با همان اسیدیته فعال (pH) امّا با اسیدیته‌ی قابل‌تبادل و باقی‌مانده کمتر(د) دارای ظرفیت بافری پایین‌تری می‌باشد.

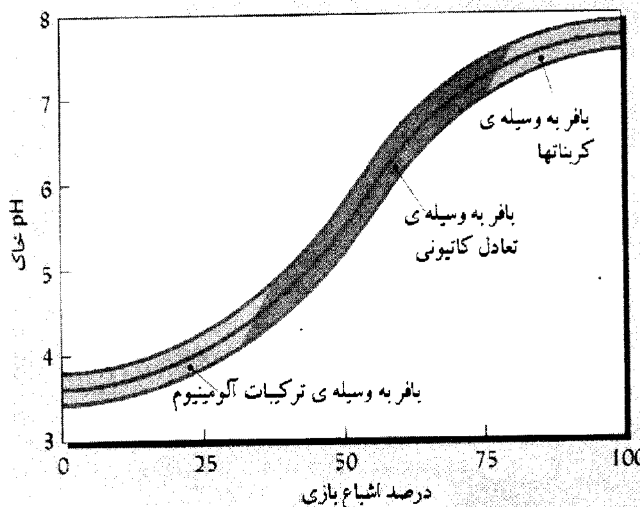
۹-۵ ظرفیت بافری خاک‌ها

خاک‌ها از نظر ظرفیت بافری خود بسیار متغییر می‌باشند. درصورت یکسان‌بودن سایر عوامل هرچه ظرفیت تبادل کاتیونی یک خاک بیشتر باشد ظرفیت بافری آن بالاتر است، این رابطه به‌این دلیل برقرار است که در این خاک‌ها اسیدیته‌ی ذخیره و قابل‌تبادل بیشتری باید اضافه یا خنثی شود تا سبب یک تغییر کوچک در pH خاک گردد. بنابراین یک خاک لوم رسی که دارای ۶ درصد ماده‌ی آلی و۲۰ درصد رس ۲:۱ باشد از یک خاک لوم شنی با ۲ درصد ماده‌ی آلی و ۱۰ درصد رس کائولینیت دارای ظرفیت بافری بسیار بالاتری می‌باشد.

منحنی بافری خاک

منحنی‌های بافر خاک که در شکل ۸-۹ نشان داده شده است مطرح می‌کنند که بعضی از خاک‌ها در pH زیر ۵ و بالای ۷ به‌شدت بافر می‌باشند. در این محدوده ترکیبات آلومینیوم (pH پایین) و کربنات‌ها (pH بالا) واکنش‌های بافری را تنظیم می‌کنند. خاک در مقادیر pH حدواسط، که در آن تبادل کاتیونی، عمده‌ترین سازوکار بافری است در کمترین ظرفیت بافری می‌باشد. هرچند تغییرات خیلی زیادی در روابط بین pH و درصد اشباع بازی در خاک‌ها موجود می‌باشد. بخشی از این تغییرات مربوط به اختلاف کلوییدهای خاک در تأثیر pH بر درصد اشباع بازی آن‌ها می‌باشد. به‌همین‌ترتیب اختلاف در بین خاک‌ها در مقدار پیوند با همتافت‌های هیدراکسی آلومینیوم آن‌ها می‌باشد، که می‌توانند با بالا رفتن pH سبب جذب ین‌های OH^- گردند و درنتیجه بعضی از اختلافات در بین روابط pH و اشباع بازی را توضیح دهند. این روابط همچنین تحت تأثیر افزایش CEC ماده‌ی آلی و بعضی از رس‌های ۱:۱ با افزایش pH می‌باشد

[1]- Buffering

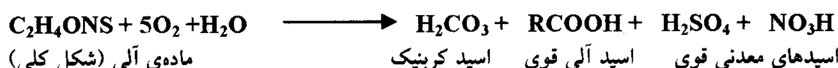


شکل ۸-۹ رابطه‌ی بین درصد اشباع بازی و pH خاک‌های ورمونت، دامنه pH مناسب که در آن هر سه سازوکار بافری‌شدن بسیار فعال می‌باشند. ترکیبات آلومینیوم در pH پایین، تبادل کاتیونی در pH حدوسط و کربنات‌ها در PH بالا. اگر چه تغییرات زیادی در بین یک خاک با خاک دیگر در مورد رابطه‌ی pH با اشباع بازی موجود است، سه سازوکار عمده‌ی مشخص‌شده برای بافری‌شدن خاک‌ها معمولاً صادق می‌باشد.

۶-۹ تغییرات در pH خاک

تغییرات طبیعی

فرایندهای هوادیدگی و تخریب مواد آلی در طبیعت منجر به تشکیل مواد شیمیایی تولیدکننده‌ی اسید و باز خواهند شد کاتیون‌های تشکیل دهنده باز (Ca^{2+}, Mg^{2+} و ...) از صخره‌ها و کانی‌ها در طول تجزیه‌ی آن‌ها آزاد می‌شوند. یون‌های هیدروژن به‌عنوان نتیجه‌ی نهایی یک رشته از واکنش‌های پیچیده در طی تجزیه مواد آلی ایجاد می‌گردند:



$$C_2H_4ONS + 5O_2 + H_2O \longrightarrow H_2CO_3 + RCOOH + H_2SO_4 + NO_3H$$

مادهٔ آلی (شکل کلی) — اسید کربنیک — اسید آلی قوی — اسیدهای معدنی قوی

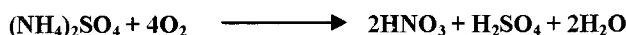
با تفکیک این اسیدها، آن‌ها به منابع مستقیم یون هیدروژن تبدیل می‌شوند. آن‌ها همچنین در حل‌کردن آلومینیوم از سطوح معدنی، که عامل کلیدی در خاک‌های خیلی اسیدی است کمک می‌کنند.

در مناطق با بارندگی اندک آبشویی کاتیون‌های بازی به طبقات پایین کم است. بنابراین این کاتیون‌ها برای اشغال محل‌های تبادل در همتافت کلوییدی قادرند با یون هیدروژن و آلومینیوم رقابت کنند. این سبب ایجاد درصد اشباع بازی بالا و مقادیر pH ۷ و یا بالاتر می‌گردد. در مناطق مرطوب‌تر آبشویی افق‌های فوقانی، آن‌ها را از کلسیم و سایر کاتیون‌های بازی تخلیه کرده هیدروژن و آلومینیوم تجمع می‌یابند، درصد اشباع بازی کاهش یافته و pH پایین می‌اید. شکل ۹-۹ اثر فزاینده اقلیم مرطوب را بر میزان اسیدیته در مناطق زیر پوشش جنگل طبیعی و مراتع تشریح می‌کند.

تغییرات ناشی از دخالت انسان

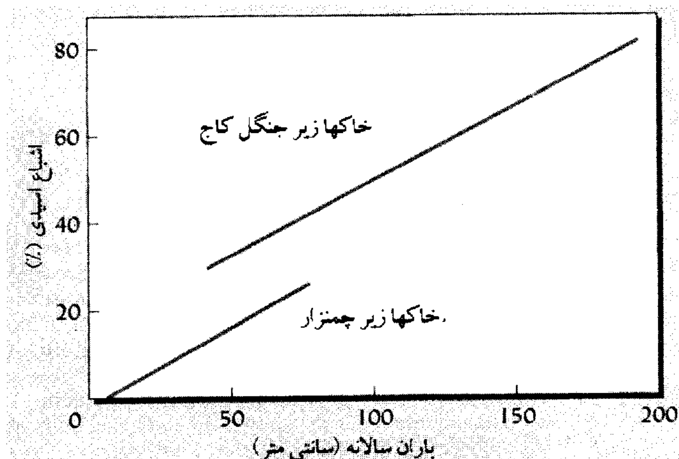
در زمان‌های اخیر این تغییرات طبیعی درازمدت براثر تغییراتی که ریشه در فعالیت‌های انسان دارد به‌طور فزاینده‌ای تقویت یافته است. بالا رفتن سریع جمعیت انسانی همراه با صنعتی‌شدن گسترده سبب تقویت بعضی از فعالیت‌ها می‌شود که اثرات قابل توجهی بر pH خاک دارند، تعداد اندکی از این فعالیت‌ها مورد ملاحظه قرار خواهند گرفت.

استفاده از کودهای شیمیایی: کودهای شیمیایی، درحالی‌که سبب افزایش قابل‌توجهی در تأمین غذای جهانی شده‌اند، تغییرات قابل‌توجهی را نیز در pH خاک به‌بار آورده‌اند. کودهای مورد استفاده گسترده آمونیومی مانند $(NH_4)_2SO_4$ و $(NH_4)_2HPO_4$ در خاک به‌وسیله‌ی ریزجانداران اکسیده شده و اسیدهای معدنی قوی در طی واکنش‌هایی مانند زیر تولید می‌کنند.



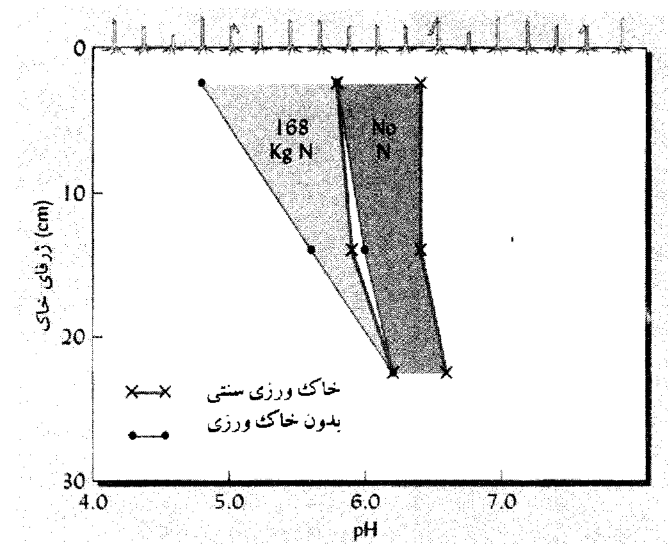
$$(NH_4)_2SO_4 + 4O_2 \longrightarrow 2HNO_3 + H_2SO_4 + 2H_2O$$

این اسیدهای قوی تولید یون H^+ کرده که سبب پایین‌آمدن مقدار pH می‌شود. ازآن‌جاکه مصرف کودهای شیمیایی در مقیاس جهانی از سال ۱۹۵۰ تا سال ۱۹۹۰ ده برابر افزایش یافته است، اثرات این نوع واکنش‌ها اندک نمی‌باشد. تنها در ایالت متحده حداقل ۲۰ میلیون تن متریک آهک لازم است تا اسیدیته‌ی حاصل از کودهای شیمیایی را در هر سال خنثی کند.



شکل ۹-۹ اثر بارندگی سالانه بر درصد اشباع اسیدی در خاک کشت‌وکارنشده‌ی کالیفرنیا تحت چمن‌زار و جنگل کاج. توجه کنید که درجه‌ی اسیدی‌شدن با افزایش بارندگی فزونی می‌یابد. همچنین توجه کنید که جنگل درجه بالاتری از اسیدیته خاک در مقایسه با چمن‌زارها تولید نموده است.

عملیات خاک‌ورزی: این عملیات در pH افق‌های فوقانی خاک مؤثر می‌باشند. در نظام خاک‌ورزی بدون انجام شخم و شیار تجزیه‌ی بقایای آلی متراکم شده در سطح خاک سبب ایجاد اسیدهای آلی و معدنی می‌گردد که سبب اسیدی‌شدن خاک می‌شوند. به‌همین طریق، کودهای ازته، که اساساً در لایه‌های سطحی در نظام خاک‌ورزی بدون انجام شخم و شیار استعمال می‌شود، سبب بروز اثرات اسیدی‌گشتن ناحیه‌ای کودهای شیمیایی می‌شود. اثرات مشترک عملیات خاک‌ورزی و مصرف کودهای شیمیایی در pH خاک در شکل ۱۰-۹ نشان داده شده است. به‌خاطر داشته باشید، که لایه‌های خاک، که تحت تأثیر قرار می‌گیرند، آن‌هایی هستند که نزدیک سطح خاک بوده و تراکم ریشه در آن‌جا حداکثر است. خوشبختانه، آن‌ها افق‌هایی هستند که تحت بیشترین تأثیر با مصرف سطحی مواد آهکی قرار می‌گیرند.



شکل ۱۰-۹ اثرات ۱۰ سال دو نوع عملیات خاک‌ورزی (مرسوم و بدون خاک‌ورزی) با و بدون مصرف کود نیتروژن در pH یک خاک الفی‌سول در مزرعه ذرت در کنتاکی. کرت‌های بدون خاک‌ورزی از نظر pH به‌طور پایدار از خاک‌ورزی سنتی پایین‌تر بودند. این تفاوت در کرت‌ها با تیمار ازت تشدید گردید، به‌خصوص در چندسانتی‌متری بالای خاک. تفاوت احتمالاً عمدتاً به‌خاطر تشکیل اسید آلی از تجزیه پس‌مانده‌ها در کرت‌های بدون خاک‌ورزی و اسیدهای معدنی (مانند HNO_3) از کود نیتروژن مصرف‌شده در سطح است.

نهشته‌های اسیدی حاصل از نیوار: باران اسیدی دومین منبع مهّم جهانی اسید نیتریک و اسید سولفوریک است. گازهای حاوی ازت و گوگرد از طریق احتراق ذغال‌سنگ، بنزین و سایر سوخت‌های فسیلی و هم‌چنین سوخته‌شدن جنگل و پس‌مانده‌های گیاهی، در نیوار انتشار می‌یابد (شکل ۱۱-۹ را مشاهده کنید). این گازها با آب و سایر مواد در نیوار برای تشکیل HNO_3 و H_2SO_4 وارد واکنش شده و سپس در آب باران به زمین باز می‌گردند. این ریزش‌ها باران اسیدی نامیده می‌شود، زیرا pH آن معمولاً بین ٤ تا ٤/٥ بوده و ممکن است حتی به ۲

نیز برسد. بارندگی معمولی که با گازکربنیک نیوار در حال تعادل می‌باشد دارای pH ۵ تا ٦ است. نقشه‌ای‌که pH باران‌های اسیدی را در شمال آمریکا نشان می‌دهد، در شکل ۱۲-۹ آمده است.

مقدار اسیدسولفوریک و اسیدنیتریک واردشده به زمین از طریق باران‌های اسیدی بسیار زیاد است، امّا مقدار وارده به یک هکتار زمین در سال برای تغییر سریع pH خاک کافی نمی‌باشد. در طول زمان اثرات تراکمی نهشته‌های سالانه می‌تواند هم در خاک‌ها و هم در گیاهان کاشته شده تأثیرگذار باشد.

باران‌های اسیدی به‌خصوص در مناطق جنگلی مرطوب در نزدیکی نقاط شهری و صنعتی که آلاینده‌های حاوی S و N عرضه می‌کنند نگران‌کننده می‌باشد. جنگل‌ها در بخش شرقی ایالات متحده و اکثر اروپا تحت تأثیر این باران‌ها قرار گرفته‌اند (شکل ۱۳-۹ را مشاهده کنید). مطالعات نشان داده‌اند که آبشویی کاتیون‌های بازی و تحرک آلومینیوم با حضور آنیون‌های قوی اسیدی ($SO4^{2-}$ و NO^{3-}) همراه با ین $H+$ حاصل از باران‌های اسیدی در محلول خاک افزایش می‌یابد. شکل ١٤-۹ کاهش Ca^{2+}, Mg^{2+} و K^+ و مقدار pH خاک را در طول ۲۰ سال در ۲ حوزه‌ی آب‌خیز جنگلی که تحت تأثیر باران‌های اسیدی قرار گرفته بودند نشان می‌دهد. درحالی‌که فرایندهای طبیعی بدون شک علت بخشی از این تغییرات می‌باشند، به‌نظر می‌رسد حداقل نصف آن‌ها به‌دلیل باران‌های اسیدی حاصل از فعالیت انسانی است.

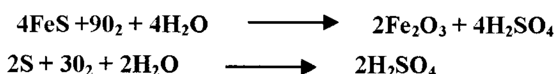
آبشویی کلسیم و فعال نمودن آلومینیوم منجر به نسبت‌های $^{Ca}/_{Al}$ کمتر از یک در محلول خاک می‌شود، این نسبت به‌عنوان آستانه‌ی محدودیت رشد نباتی و جذب عناصر غذایی تلقی می‌گردد. غلظت‌های بالاتر آلومینیوم می‌تواند سبب ایجاد مسمومیت و کاهش جذب کلسیم و سایر عناصر به‌وسیله‌ی درختان و سایر گیاهان گردد.

پس از تصویب طرح هوای تمیز در سال ۱۹۷۰ ته‌نشینی نیواری اسیدسولفات‌ها در شمال آمریکا به‌طور عمده‌ای کاهش یافته است، متأسفانه افزایش قابل‌انتظار در pH در بعضی از رودخانه‌های شمال شرق آمریکا صورت نگرفته است. به‌نظر می‌رسد معضل مزبور ناشی از این حقیقت باشد که بعضی از مقررات، که سبب کاهش انتشار گازهای SO_4 و NOx شده است سبب کاهش انتشار بیشتری از کلسیم و سایر کاتیون‌های بازی موجود در دود است که از توده‌های دودزا جدا می‌شوند. درهرحال نظارت بر اثرات باران اسیدی، به‌خصوص در مناطق جنگل‌های مرطوب اروپا و آمریکا که در آن‌ها باران‌های اسیدی به‌عنوان یکی از علت‌های کاهش توان تولید اراضی جنگلی مورد شک و بررسی است ادامه دارد. متأسفانه، کوشش برای جبران کاتیون‌های بازی در خاک‌های جنگلی به‌دلیل پرهزینه‌بودن و مشکلات استعمال مواد آهکی از طریق پاشیدن هوایی و دیگر روش‌ها در مناطق دارای درختان دایمی بی‌نتیجه است.

دفع فضولات آلی تولیدکننده‌ی اسید: جای‌گذاری فضولات مانند مواد جامد فاضلاب‌ها (لجن) بر روی اراضی کشاورزی و جنگلی یکی دیگر از فعالیت‌های انسانی است که در واکنش خاک مؤثر می‌باشد. یکی از پیامدهای معمول این اقدامات اسیدی‌شدن خاک است. اسیدهای آلی و معدنی با تجربه مقادیر زیاد لجن فاضلاب تشکیل گردیده و pH خاک پایین می‌آید (شکل ۱۵-۹). خوشبختانه، در بعضی از کشورها اصلاح این فضولات با آهک قبل‌از مصرف آن‌ها تضمین می‌شود. درواقع بعضی از لجن‌های آهک‌زده ممکن‌است دارای pH نهایی ۷/۵-۸/۵ باشند که آن‌ها را برای مقابله با اسیدیته خاک مفید می‌سازد. تنظیم pH خاک پس‌ازمصرف لجن فاضلاب به‌منظور به‌حداقل‌رساندن فعالیت عناصر فلزی موجود در بعضی از آن‌ها نیز بر طبق مقررات انجام می‌گیرد (بخش ۸-۱۸ را مطالعه کنید).

عملیات آبیاری: در مناطق خشک و نیمه‌خشک آبیاری می‌تواند به تجمع نمک‌های اضافی بیانجامد و سبب افزایش نامطلوب pH و همین‌طور شوری خاک گردد. آب آبیاری نمک را از حوزه آب‌خیز بالادست و مناطق آبیاری به اراضی آبی پایین‌دست رودخانه انتقال می‌دهد. وقتی آب تبخیر می‌شود، نمک‌ها باقی مانده و می‌توانند در افق‌های سطحی تجمع یابند. از جمله‌ی آن‌ها نمک‌های دارای یون Na^+ است که می‌تواند به‌وسیله‌ی کلوییدهای خاک جذب گردد، به‌خصوص اگر یون بی‌کربنات وجود داشته باشد، این سبب مقادیر نامطلوب pH و همین‌طور عدم پایداری ساختمان می‌شود. این موضوع در جزییات بیشتر در فصل ۱۰ مورد توجه قرار خواهد گرفت.

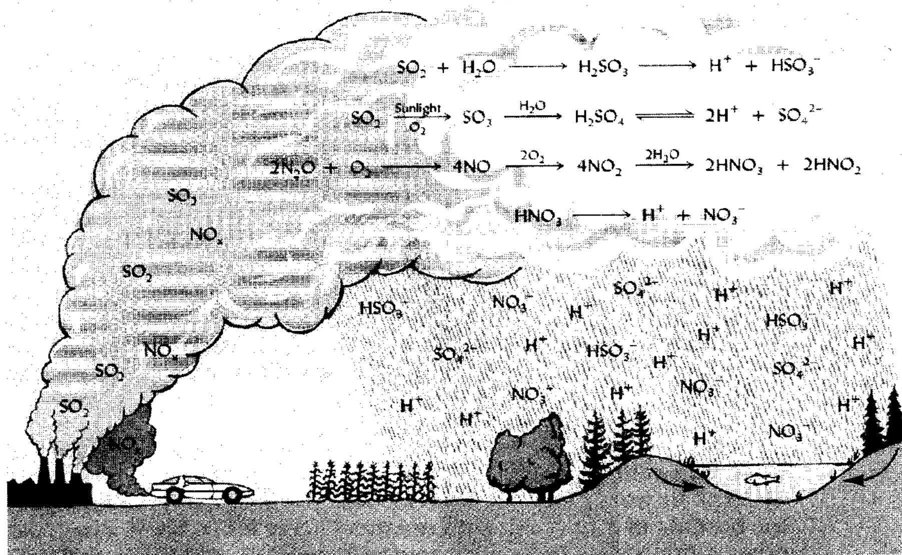
زه‌کشی بعضی از اراضی ماندابی ساحلی: خاک‌ها در بعضی از مناطق ساحلی جنوب شرقی آمریکا و اراضی مشابه در بعضی از کشورهای جنوب شرق آسیا و غرب آفریقا دارای مقادیر زیادی پیریت (FeS_2)، سولفید آهن (FeS) و گوگرد عنصری (S) می‌باشند که براثر احیاء میکروبی سولفات‌ها ایجاد شده‌اند. وقتی این اراضی زه‌کشی می‌شوند FeS و S اکسیده شده و نهایتاً سبب ایجاد اسید سولفوریک می‌شوند که علت اطلاق واژه‌ی خاک‌های اسید سولفاته به آن‌ها می‌باشد.



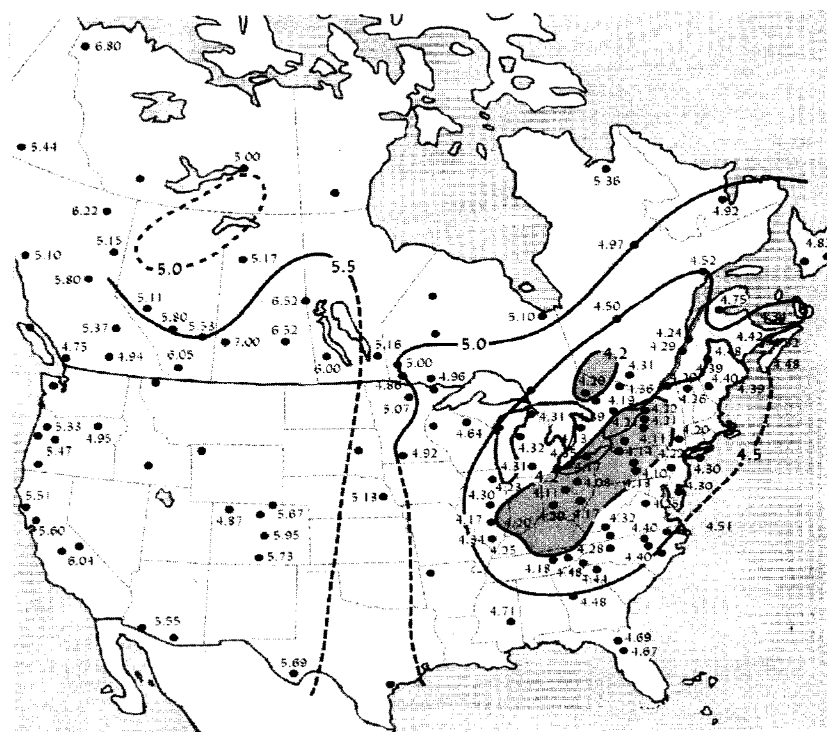
$$4FeS + 9O_2 + 4H_2O \longrightarrow 2Fe_2O_3 + 4H_2SO_4$$

$$2S + 3O_2 + 2H_2O \longrightarrow 2H_2SO_4$$

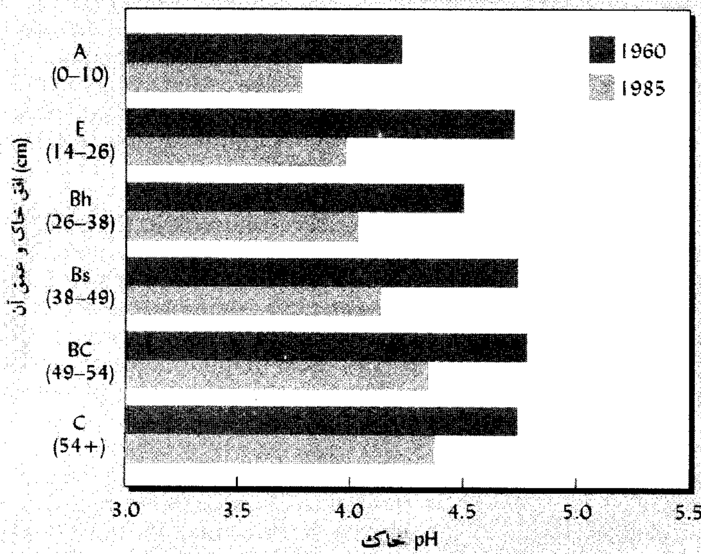
در مورد خاک‌های دارای مقادیر زیاد از این ترکیبات حاوی گوگرد، که با اکسیده‌شدن تولید اسید می‌کنند، گفته می‌شود، که دارای توان بالای اسیدی‌شدن می‌باشند. درهرحال وقتی این خاک‌ها در حین عملیات زه‌کشی و یا حفاری با اکسیژن مواجه می‌شوند اسیدیته شدید حاصل گردیده و pH های پایین تا حد ۱/۵ نیز گزارش شده است. معرف مقادیر فوق‌العاده زیاد آهک مورد نیاز برای خنثی‌کردن این اسیدیته عملاً غیراقتصادی می‌باشد. بهترین راه این‌است‌که این خاک‌ها نه‌تنها به‌خاطر دلایل کشاورزی و اقتصادی بلکه برای اجتناب از آلودگی حاصل از زه‌کشی اسیدی و حفظ این اراضی به‌عنوان زیستگاه‌های طبیعی حیات‌وحش و گیاهی دست‌نخورده باقی مانده، و یا به شرایط قبل از زه‌کشی برگردانده شوند.



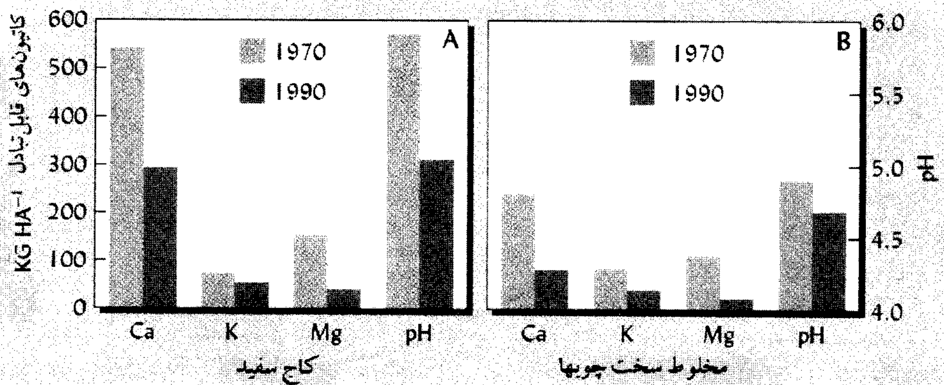
شکل ۱۱-۹ تشریح تشکیل اکسیدهای ازت و گوگرد ناشی از احتراق سوخت‌ها در فرآوری معادن سولفیدها و موتور وسایل نقلیه، اکسایش بیشتر این گازها و واکنش آن‌ها با آب برای تشکیل اسید سولفوریک و نیتریک نشان داده شده است. این سبب اسیدی‌شدن آب باران می‌شود که بعداً بر روی خاک نازل می‌گردد. NOx در شکل بیانگر مخلوطی از اکسیدهای ازت عمدتاً N_2O و NO می‌باشد.



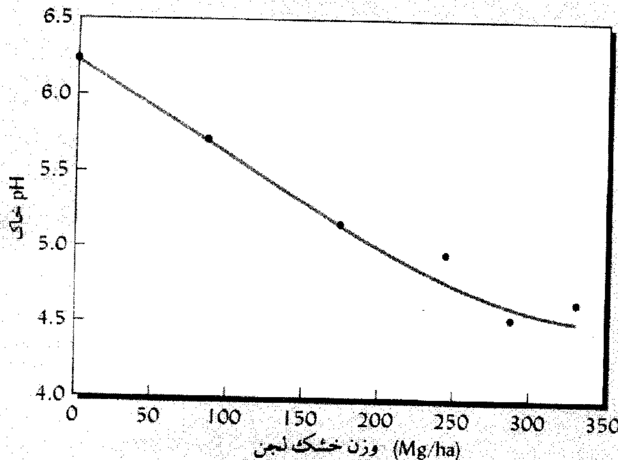
شکل ۱۲-۹ میزان میانگین وزنی pH بارندگی سالانه بر حسب مقدار بارندگی در آمریکا و کانادا در سال ۱۹۸۰



شکل ۱۳-۹ کاهش pH خاک در ۶۷ محل از خاک‌های اسپدوسول جنگلی در شمال بلژیک که فکر می‌کنند به‌خاطر ۲۵ سال نهشته‌های اسیدی نیواری و همین‌طور اسیدی‌شدن طبیعی باشد.



شکل ۱٤-۹ کاتیون‌های قابل‌تبادل Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+ و pH خاک از سال ۱۹۷۰ تا سال ۱۹۹۰ به‌طور چشمگیری در افق A در ۲ حوزه آب‌خیز مناطق کوهستانی کارولینای شمالی کاهش یافت. یک حوزه (الف) کاج سفید و حوزه دیگر (B) درختان پهن‌برگ (چوب‌سخت) تولید می‌کنند. این کاهش‌ها می‌توانند براثر جذب کاتیون‌ها به‌وسیله‌ی درختان و افزایش آبشویی کاتیون‌های Ca^{2+}, Mg^{2+} و K^+ از خاک به‌وسیله‌ی باران‌های اسیدی تشریح گردند.



شکل ۱۵-۹ اثر کاربرد مقادیر زیاد لجن فاضلاب در طول ٦ سال در pH یک خاک پالوداف (لوم شن ریز اورنج برگ[1]) کاهش pH به‌دلیل وجود اسیدهای آلی و معدنی مانند HNO_3 می‌باشد که در طول تجزیه و اکسایش مواد آلی ایجاد شده‌اند.

[1]- Orangeburg fine Sandyloam

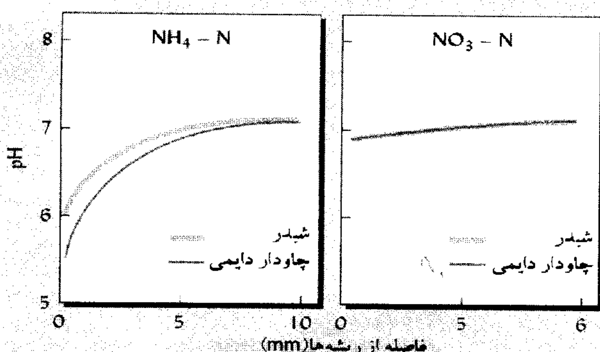
نوسانات اندک pH

نوسانات اندک pH خاک درنتیجه حرکت نمک‌ها به‌داخل و یا خارج افق‌های خاک در اثر بالارفتن و پایین‌آمدن رطوبت در خاک‌رخ می‌باشد. به‌همین‌ترتیب pH خاک‌های معدنی در طول فصول رشد گیاهان به‌دلیل اسیدهای ایجاد شده به‌وسیله‌ی ریزجانداران خاک و ریشه‌ی گیاهان عالی، کاهش می‌یابد. وقتی دمای خاک کاهش می‌یابد، مانند پاییز در مناطق معتدل، افزایشی در pH به‌خاطر آرام‌بودن فعالیت‌های زیستی مشاهده می‌شود.

تغییرات ین هیدروژن

تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای در pH محلول خاک در بخش‌های هم‌جوار خاک وجود دارد. تفاوت‌های در pH خاک در نقاطی که فقط چند سانتی‌متر با هم فاصله داشته‌اند گزارش شده است. چنین تغییرات ممکن است ناشی از تجزیه میکروبی پس‌مانده‌های مواد آلی غیریکنواخت توزیع‌شده در خاک و یا اثرات ریشه گیاهان باشد فصل ۷-۱۱ را مشاهده کنند. pH فراریشه (ریزوسفر[1]) بلافاصله در اطراف ریشه‌ها با جذب ین‌های آمونیوم از خاک اطراف کمتر است (شکل ۱۶-۹) زیرا ین NH_4^+ سبب جایگزینی ین‌های H^+ سطح ریشه و کاهش pH می‌شود.

تغییرات محلول خاک از جنبه‌های بسیاری مهم است. برای نمونه، برای ریشه گیاهان و ریزجاندارن خاک محیط‌های مختلفی از محلول خاک فراهم می‌کند. موجوداتی که با غلظت ین هیدروژن به‌طور نامطلوب مواجه می‌شوند ممکن‌است در یک فاصله بی‌نهایت کوچک یک محیط متفاوت رضایت‌بخش‌تری را پیدا کنند. تفاوت محیط‌ها ممکن‌است تا حدی تنوع گونه‌های میکربی موجود در خاک‌های معمول را توجیه کند.



شکل۱۶-۹ pH فراریشه در فواصل مختلف ریشه‌ی چاودار و شبدر با دریافت نیتروژن نیتراتی و نیتروژن آمونیاکی. تبادل ین +NH4 با ین +H در سطح ریشه سبب آزادشدن آن‌ها به فراریشه و بنابراین کاهش pH گردید در مورد NO_3 این تبادل وکاهش pH صورت نمی‌گیرد.

۷-۹ واکنش خاک: همبستگی‌ها

اطلاعات pH خاک برای مدیر خاک مفید است، زیرا pH در تعداد زیادی از پدیده‌های شیمیایی و زیستی در خاک‌ها مؤثر می‌باشد. شکل ۱۷-۹ یک نمونه را تحت عنوان : اثر اسیدیته‌ی خاک (سمیت آلومینیوم) بر رشد ریشه‌ی پنبه در خاک‌های معدنی ارائه می‌کند. چند نمونه دیگر برای تشریح هرچه بیشتر این نکته در زیر مورد ملاحظه قرار خواهند گرفت.

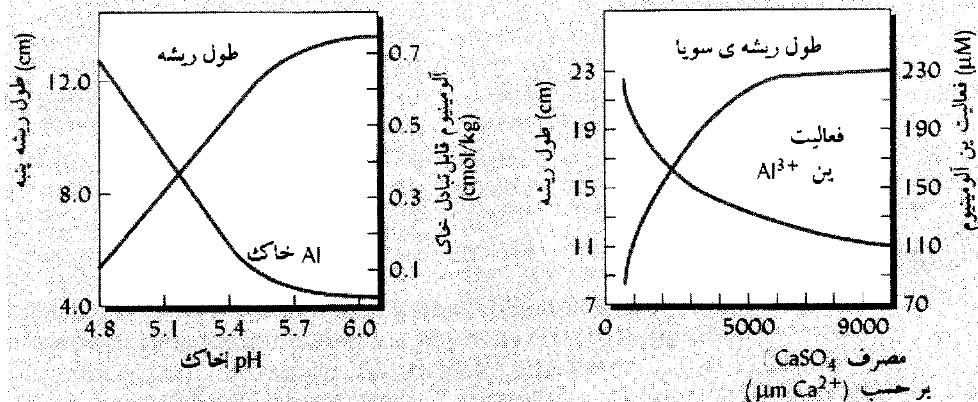
قابلیت استفاده عناصر غذایی و فعالیت میکربی

شکل ۱۸-۹ به‌طور کلی رابطه‌ی بین pH خاک و قابلیت استفاده‌ی عناصر غذایی و همین‌طور فعالیت ریزجانداران خاک را نشان می‌دهد. توجه کنید که در خاک‌ها با اسیدیته‌ی قوی قابلیت استفاده عناصر پرمصرف (N , P , K , Mg , Ca, و S) و همین‌طور مولیبدون و بُر محدود می‌شود. برعکس قابلیت استفاده عناصر کم‌مصرف (Cu , Zn, Mn, Fe و کبالت) در pH پایین خاک در حد مسمّومیت برای گیاهان عالی/ و یا ریزجانداران خاک افزایش خواهد یافت.

در خاک‌های قلیایی ضعیف و متوسط مولیبدون و تمام عناصر پرمصرف (به‌استثنای فسفر) در حد فراوان قابل استفاده می‌باشند امّا میزان Cu, Mn, Fe و کبالت قابل استفاده چنان پایین است که رشد گیاه دچار محدودیت می‌شود. قابلیت استفاده فسفر و بُر در خاک‌های قلیایی نیز معمولاً در حد ایجاد کمبود برای نباتات کاهش می‌یابد.

[1] - Rhizosphere

جمع‌بندی روابط بین عناصر غذایی و pH مشکل است، هرچند از شکل ۱۸-۹ به‌نظر می‌رسد که دامنه pH ۵/۵ تا ۶/۵ و شاید ۷ مناسب‌ترین سطوح عناصر غذایی گیاهی را به‌طور کلی فراهم می‌کند. هرچند این جمع‌بندی برای تمام خاک‌ها و ترکیبات گیاهی ممکن است معتبر نباشد. برای نمونه کمبود بعضی از عناصر کم‌مصرف مشخص در بعضی از خاک‌های شنی که آهک در خاک تا حدّ ایجاد ۵/۵pH تا ۶ مصرف شده است، معمول می‌باشد.



شکل ۱۷-۹ غلظت بالای آلومینیوم قابل‌تبادل و یا محلول خاک در خاک‌های اسیدی برای ریشه‌ی گیاهان سمّی می‌باشد. سمّیتی که می‌تواند با مصرف $CaSO_4$ تا حدی کاهش یابد. (الف) طول ریشه پنبه با افزایش pH خاک و کاهش آلومینیوم قابل‌تبادل افزایش یافت (ب) اضافه‌کردن $CaSO_4$ به یک محلول غذایی (pH = ۴) فعالیت Al^{3+} را کاهش داده و امکان افزایش در طول ریشه لوبیا روغنی را درحالی‌که کمترین تأثیر را بر pH محلول خاک دارد، فراهم می‌کند.

شکل ۱۸-۹ مطرح می‌کند که باکتری‌ها و اکتینومیست‌های خیلی معمول در pH متوسط و بالا به نحوی مطلوب ایفای نقش می‌کنند. به‌نظر می‌رسد قارچ‌ها که بسیار سازگار بوده و در یک دامنه وسیعی از pH رشد رضایت‌بخشی دارند. بنابراین فعالیت قارچ‌ها در اکثر خاک‌های اسیدی غالب می‌باشد، درحالی‌که در pH متوسط و بالاتر آن‌ها با رقابت شدید اکتینومیست‌ها و باکتری‌ها مواجه می‌باشند.

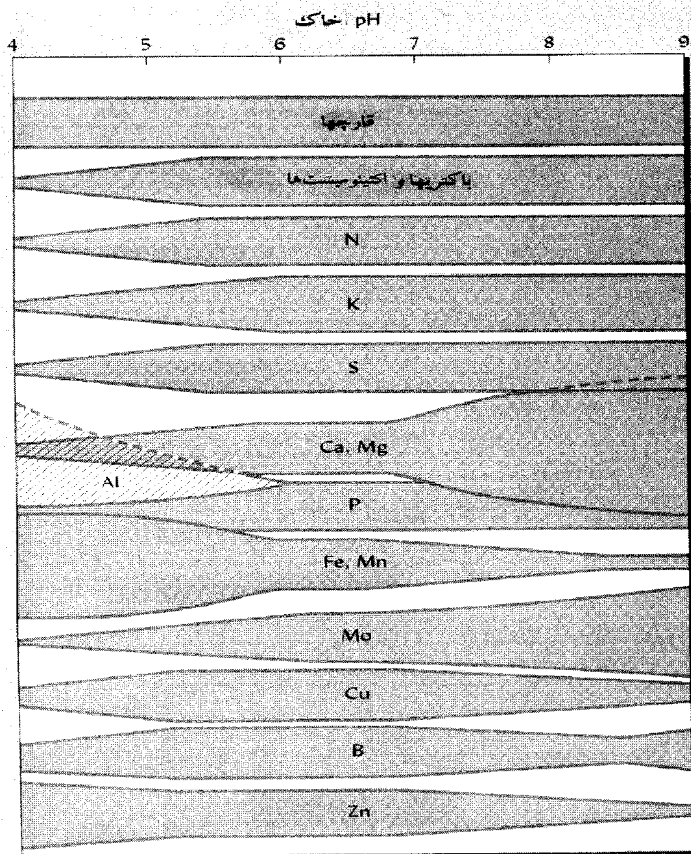
گیاهان عالی و pH

گیاهان از نظر مقاومت به شرایط اسیدی و / یا قلیایی بسیار متفاوتند (شکل ۱۹-۹ را مشاهده کنید). برای مثال نباتات تیره‌ی حبوبات علوفه‌ای مانند یونجه و شبدر در خاک‌های حدود خنثی و یا قلیایی بهترین رشد را دارند، و باید در اکثر خاک‌های معدنی مناطق مرطوب برای رشد مطلوب این محصولات آهک مصرف گردد.

رودودندرون[1] و ازالیا[2] دریک انتهای مقیاس قرار دارند آن‌ها ظاهراً نیازمند مقدار قابل‌ملاحظه‌ای آهن می‌باشند که فقط به‌مقدار فراوان در pH پایین وجود دارند. اگر pH و درصد اشباع بازی به‌اندازه کافی‌پایین نباشند این نباتات کلروز (زردشدن برگ‌ها) و سایر علایم مشخصه کمبود آهن را نشان می‌دهند (شکل ۸-۱۵ را مشاهده کنید).

بسیاری از درختان جنگلی در دامنه‌ی گسترده‌ای از pH به خوبی رشد می‌کنند و این بیانگر آن است که آن‌ها دارای مقداری مقاومت به اسیدیته‌ی خاک می‌باشند. این مسأله قابل‌انتظار است، زیرا درختان جنگلی (به‌خصوص سوزنی‌برگان) معمولاً سبب افزایش اسیدیته می‌شوند، و جنگل‌هایی در مناطق مرطوب وجود دارند که در آن‌جا خاک‌های اسیدی معمول می‌باشند. اختلافات چندی بین گونه‌های درختی از نظر مقاومت آن‌ها به اسیدیته‌ی بالا و آلومینیوم وجود دارد. برای مثال، کاج‌ها معمولاً به خاک‌های خیلی اسیدی بسیار مقاوم می‌باشند. کاج نوئل مقاومت کمتری داشته اما مقاومت آن‌ها بیشتر از اکثر سخت‌چوب‌ها (افرا، بلوط و راش) می‌باشد. نارون، تبریزی، لیلکی و لوکانا[3] به‌خاطر مقاومت کم خود درمقایسه با اکثر گونه‌های جنگلی به خاک‌های اسیدی، مشهور می‌باشند. گیاهانی که در خاک‌های خیلی اسیدی (pH< ۵) رشد ضعیفی دارند معمولاً در معرض سمیت آلومینیوم قرار گرفته‌اند که باعث می‌شود ریشه درختان کوتاه، ضخیم و زبر باشد.

---
1 - Rhododendron
2 - Azalia
3 - Locaena



شکل۱۸-۹ روابط موجود در خاک‌های معدنی بین pH محلول خاک از یک‌طرف و فعالیت ریزجانداران خاک و قابلیت استفاده عناصر غذایی از طرف دیگر، بخش عریض نوار بیانگر مناطقی با بیشترین فعالیت میکربی و قابلیت استفاده آسان عناصر غذایی می‌باشد. وقتی همبستگی‌ها به‌طور کلی مدّ نظر قرار گیرند قابلیت استفاده عناصر به بهترین وجه در دامنه pH ۷-۵/۵ ممکن می‌شود. خلاصه اگر pH خاک به‌طور مناسب برای فسفر تنظیم گردد، سایر عناصر غذایی اگر در مقدار کافی وجود داشته باشند، به‌طور رضایت‌بخش در اکثر موارد قابل‌استفاده خواهند‌بود.

خاک‌های زراعی دارای بالاترین توان تولید، که امروزه مورد استفاده می‌باشند دارای pH متوسط یعنی نه‌خیلی اسیدی و نه‌خیلی قلیایی هستند بیشتر محصولات زراعی در این خاک‌ها رشد خوبی دارند.

از آن‌جاکه گیاهان چمنی مرتعی، بسیاری از گیاهان تیره‌ی بقولات،، غلات دانه‌ریز، گیاهان مزرعه‌ای ردیفی و تعداد زیادی از سبزی‌ها در این گروه خیلی گسترده گیاهان مقاوم قرار دارند، اسیدیته و قلیاییت ضعیف خاک محدودکننده رشد آن‌ها نیست. در قالب pH شاید دامنه ۵/۵ تا ۷ برای اکثر محصولات بیشترین تناسب را داشته باشد.

pH خاک و کیفیت زیست‌محیطی

مثال‌های بسیاری درمورد تأثیرPH خاک بر کیفیت محیط زیست وجود دارد امّا نمونه‌ای از آن اثر pH بر آلودگی آب زیرزمینی به‌وسیله‌ی علف‌کش‌ها ذکر می‌شود. گروه‌های شیمیایی مانند NH_2 - و COO^- – موجود بر روی مولکول بعضی علف‌کش‌ها، واکنش با کلویید را تقویت می‌کنند. این واکنش‌ها ممکن است مولکول علف‌کش را با ماده‌ی آلی و یا رس خاک پیوند داده و یا در بار سطحی، و در نتیجه توانایی آن برای تبادل با آنیون‌ها و یا جذب به‌وسیله‌ی کلویید خاک تأثیر بگذارد.

مثالی از این نوع جذب، آترازین[1] است علف‌کشی که در مزارع ذرت به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگر خاک کاملاً اسیدی باشد (pH کمتر از ۵/۷)، مولکول آترازین یک پروتون (ین +H) جذب کرده مولکول علف‌کش دارای بار مثبت می‌شود. فرایندی که پروتونی‌شدن[2] نام دارد. مولکول با بار مثبت آن‌گاه جذب کلوییدهای دارای بار منفی می‌شود. در این شرایط آترازین به‌وسیله‌ی کلویید خاک تا تجزیه آن به‌وسیله‌ی ریزجانداران خاک نگهداری شده و بعید به‌نظر می‌رسد به‌طرف پایین و به‌داخل آب زیرزمینی حرکت کند. در مقادیر pH بالای ۵/۷ جذب به‌شدت کاهش یافته و تمایل علف‌کش برای حرکت روبه‌پایین در داخل خاک و رسیدن به آب زیرزمینی افزایش می‌یابد. جذب کلوییدی آترازین در خاک‌های اسیدی قابلیت استفاده آن‌را برای جذب ریشه‌های علف هرز کم کرده و مؤثر بودن آن‌را به عنوان علف‌کش کاهش می‌دهد.

---

[1]- Atrazine
[2] - Protonation

نباتات		pH خاک		
		۴	۵	۶ +۷
گیاهان	درختان	خاک‌های اسیدی و خیلی اسیدی	خاک‌های با اسیدیته متوسط	خاک‌های با اسیدیته کم و کمی قلیایی
یونجه Alfalfa شبدر شیرین Sweet Clover مارچوبه Asparagus علف بوفالو Buffalo grass علف گندم Wheat grass	گردو Walnut توسکا Alder اکالیپتوس Eucalyptus اربورویت Arborvite			
چغندر باغی Garden beet چغندر قند Suger beet گل کم Cauliflower کاهو Lettuce طالبی Cantaloupe	تمشک Currant افرا Ash ممرز Beech تبریزی Popular درخت لاله Tulip Tree توسکا Maple یاس بنفش Lilac یاس زرد Yew لوکانا Lucanea			
اسفناج Spinach شبدر قرمز Red clover نخودها Peas کلم Cabbage علف کنتاکی Kentucky grass شبدر سفید White clover هویج Carrots	فیلبرت Philibert أرس Juniper مورد Myrtle نارون Elm زردآلو Apricot			
پنبه Cotton تیموتی Timothy جو Barley گندم Wheat فستوکا بلند وچمنی Fescue(tall) ذرت Corn لوبیا روغنی Soy bean یولاف Oat شبدر السیک Alsike clover شبدر کریمسون Crimson clover برنج Rice علف برمودا (مَرغ) Bermoda grass گوجه فرنگی Tomato خلر Vetch ارزن Millet گاودانه Cowpea لیپدزیا Lepedzia تنباکو Tobacco چاودار Rye گندم سیاه Buck wheat	غان Birch ذغال اخته Dog wood نراد Fir ماگنولیا Magnolia بلوط Oaks سدر لبنان Cedar شوکران Hemlock سرو Cypress گیلاس Flowering Cherry برگ بو Laurel اندرومدا Andromeda بلوط بید Willow Oak بلوط کاجی Pine Oak نوئل قرمز Red spruce لیلکی Honey locust			
سر قرمز Red top سیب‌زمینی Potato علف خمیده Bent grass فستوکا Fescue علف گندم غربی Wheat grass	راج آمریکایی American Holly کبوده Aspen نوئل سفید White sprace کاج سفید اسکاتلند White scotish pine کاج لابلالی Loblloly pine اقاقیا Black locust			
علف فقر Poverty grass علف پرندگان شکاری Eastern game grass علف عشق Love grass علف سرقرمز Red top grass کاساوا Cassava علف ناپیر Napir grass	زیتون پاییز Autumn olive توت آبی Blue berries توت حواصیل Cran berries آزالیا Azalea رودودندرون Rhododendron چایی Tea شوکران Hemlock بلوط بلک جک Black Jack Oak سماق Sumac غان Birch قهوه Coffe			

شکل ۱۹-۹ رابطه‌ی گیاهان عالی به شرایط فیزیولوژیکی ارائه‌شده به‌وسیله‌ی خاک‌های معدنی با واکنش‌های مختلف. توجه کنید همبستگی بسیار گسترده بوده و براساس دامنه‌ی تغییرات pH است. میزان حاصلخیزی در رابطه‌ی واقعی در هر حالت خاص بسیار مؤثر است. این جدول از نظر تصمیم‌گیری در مورد افزودن مواد شیمیایی مانند آهک و یا گوگرد برای تغییر pH بسیار ارزشمند می‌باشد.

۸-۹ تعیین pH خاک

آزمایش pH خاک به‌طور مرتب انجام گرفته و تعیین آن آسان و سریع است. نمونه‌های خاک از مزرعه برداشت شده وpH آن یا مستقیماً اندازه‌گیری می‌شود و یا نمونه‌ها را برای تعیین pH دقیق‌تر به آزمایشگاه می‌برند.

روش پتانسیل متری

درست‌ترین روش تعیین pH خاک به‌وسیله‌ی یک pH متر است (شکل ۲۰-۹). در این روش یک الکترود سنجش‌گر شیشه‌ای (همراه با یک الکترود کالومل استاندارد مرجع) در داخل مخلوط آب و خاک، که محلول خاک را شبیه‌سازی می‌کند وارد می‌شود. اختلاف بین فعالیت یون‌های هیدروژن در خاک مرطوب و الکترود شیشه‌ای سبب ایجاد یک اختلاف پتانسیل الکترومتری می‌گردد که در ارتباط با pH محلول خاک می‌باشد. این وسیله نتایج با ثباتی را ارائه داده و کار با آن ساده است.

بیشتر آزمایشگاه‌های تجزیه خاک در آمریکا pH محلول تعلیقی خاک در آب (معمولاً نسبت ۱:۱ و یا ۱:۲) را اندازه می‌گیرند. متاسفانه آب محلول خاک را رقیق کرده و سبب می‌شود مقادیر pH در حد ۰/۲ تا۰/٤ واحد بیشتر از محلول رقیق نشده‌ی خاک نشان داده شود. این تمایل با استفاده از کلرور کلسیم ۰/۰۱ مولار غیربافر کاهش می‌یابد. کلرور کلسیم همچنین سبب می‌شود که اثرات اختلاف در غلظت الکترولیت، که حاصل تراکم نمک و یا استفاده از کودهای شیمیایی در خاک است، به‌حداقل برسد.

روش رنگ‌سنجی

روش رنگ‌سنجی از این واقعیت بهره می‌برد که ترکیبات آلی خاص با افزایش یا کاهش اسیدیته تغییر رنگ می‌دهند. مخلوط این معرف‌های رنگی تغییرات قابل‌ملاحظه رنگ خاک را در یک دامنه‌ی وسیع pH خاک (۸-۳) فراهم می‌کند. چند قطره از محلول معرف رنگی در تماس با خاک قرار می‌گیرد (معمولاً در یک ظرف با سطح سفید) (شکل ۲۰-۹ را مشاهده کنید) پس از چند دقیقه رنگ معرف با یک صفحه شامل رنگ‌های معیار که pH تقریبی را مشخص می‌سازد، مقایسه می‌گردد.

در سایر روش‌های رنگ‌سنجی نوارهای متخلخل کاغذ با رنگ اغشته می‌شود. وقتی این کاغذ رنگی با مخلوط آب و خاک در تماس قرار گیرد کاغذ آب را جذب کرده، و تغییر رنگ کاغذ مشخص‌کننده pH است دقت این روش رنگ‌سنجی ۰/۲ تا ۰/۵ واحد pH است.





شکل ۲۰-۹ (چپ) pH خاک در آزمایشگاه با استفاده از یک pH متر الکترومتری با سرعت و به‌طور ارزان اندازه‌گیری می‌شود. صدها تجزیه می‌تواند در یک روز انجام شود. (راست) در مزرعه از این واقعیت استفاده شده است که رنگ‌های حساس به pH سایه‌های از رنگ را ارائه می‌کنند که می‌تواند با صفحه‌ای شامل رنگ‌های استاندارد واسنجی شوند. این روش یک وسیله آسان و ارزان را برای اندازه‌گیری pH ارائه می‌دهد، گرچه روش رنگ‌سنجی کاملاً به صحت روش الکترومتری نیست، برای اکثر اهداف مدیریتی مزرعه کاملاً رضایت‌بخش می‌باشد.

محدودیت اعداد pH

اطلاعات بسیار زیادی را در ارتباط با شرایط شیمیایی و زیستی در یک خاک با استفاده از مقادیر pH در مقایسه با هر اندازه‌گیری تنهای دیگر می‌توان استنتاج نمود. هرچند تعبیر این اندازه‌گیری‌ها در مزرعه باید با احتیاط انجام گیرد. تغییرات زیادی در pH از یک نقطه تا نقطه‌ی دیگر در مزرعه وجود دارد. احتیاط لازم را برای به‌حداقل‌رساندن خطاهای نمونه‌برداری باید به‌عمل آورد (فصل ۱۸-۱۶ را مشاهده کنید). اثرات محلی مصرف کودهای شیمیایی ممکن است تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای در pH خاک در فاصله چند سانتی‌متری ایجاد کند. برای خاک‌های شخم‌نخورده مانند آن‌هایی که نظام خاک‌ورزی صفر[1] اعمال می‌شود، فرایندهای متعدد تشکیل‌دهنده اسید در سطح و یا نزدیکی سطح خاک تمرکز یافته است، که آزمون از اعماق مختلف خاک را مطلوب می‌سازد، در غیراین‌صورت اسیدیته شدید در چند سانتی‌متر فوقانی ممکن است قابل ردیابی نباشد.

۹-۹ روش‌های تشدید اسیدیته خاک

کاهش pH خاک‌های خیلی قلیایی در اکثر موارد مطلوب است. به‌علاوه گیاهان اسیددوست نمی‌توانند مقادیر متوسط تا زیاد pH خاک را تحمل کنند. در میان آن‌ها، گونه‌های زینتی پرارزشی وجود دارند که محبوب‌ترین نوع برای پرورش‌دهندگان گل در سرتاسر دنیا می‌باشند. برای مثال، رودندرون و ازالیا بهترین رشد حود را در خاک‌های با pH ۵ و کمتر دارا می‌باشند. برای ایجاد سازگاری در این گیاهان بعضی مواقع لازم است که اسیدیته را حتی در خاک‌های اسیدی نیز افزایش داد. این کار با افزایش مواد آلی و معدنی تولیدکننده اسید در خاک انجام می‌پذیرد.

مواد آلی اسیدی

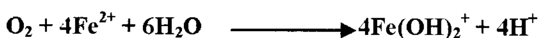
با تجزیه‌ی مواد آلی اسیدهای آلی و معدنی تشکیل می‌شوند، که می‌توانند pH خاک را اگر ماده‌ی آلی دارای کاتیون‌های بازی کمی باشد کاهش دهند. خاک برگ، برگ‌های سوزنی کاج‌ها، پوست درخت، خاک‌اره کاج و پیت اسیدی خزه‌دار[2] مواد آلی مطلوبی می‌باشند که می‌توان از آن‌ها در پرورش گل‌های زینتی استفاده کرد. کود دامی، به‌خصوص کود مرغی و خاک برگ درختان دارای عناصر بازی مانند ممرز و توسکا ممکن است قلیایی بوده و عملاً pH خاک را افزایش دهد.

مواد معدنی

وقتی افزودن ماده‌ی آلی اسیدی عملی نیست، ممکن است مواد شیمیایی معدنی مورد استفاده قرار گیرند. برای رودرندرون و آزالیا و سایر درختان که نیازمند آهن قابل‌ملاحظه‌ای می‌باشند (مانند توت‌فرنگی آبی[3] و توت‌فرنگی درنا[4]) سولفات‌های آهن دوظرفیتی ($FeSO_4$) در بعضی مواقع پیشنهاد می‌شود. این مواد شیمیایی آهن قابل استفاده (Fe^{2+})برای گیاه ارائه نموده و در اثر آبکافت سبب بالارفتن اسیدیته با واکنش‌هایی مانند زیر می‌شوند:



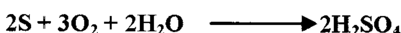
$$Fe^{2+} + H_2O \longrightarrow Fe(OH)_2 + 2H^+$$



$$O_2 + 4Fe^{2+} + 6H_2O \longrightarrow 4Fe(OH)_2^+ + 4H^+$$

ین H^+ آزادشده سبب کاهش موضعی pH شده و بعضی از آهن‌های موجود در خاک را آزاد می‌کند. سولفات آهن دو منظوره عمل می‌کند، اول آهن قابل استفاده را مستقیماً عرضه نموده و دوم، با کاهش pH خاک می‌تواند آهن تثبیت‌شده‌ی موجود در خاک را آزاد کند.

سایر مواد که معمولاً برای افزایش اسیدیته خاک به‌کار می‌روند، گوگرد عنصری و در بعضی از نظام‌های آبیاری اسیدسولفوریک می‌باشند. گوگرد معمولاً تحت اکسایش سریع میکروبی در خاک قرار گرفته (فصل ۲۱-۱۳ را مشاهده کنید) و اسید سولفوریک ایجاد می‌شود.



$$2S + 3O_2 + 2H_2O \longrightarrow 2H_2SO_4$$

1- Zero tillage
2- Acid moss peat
3- Blue berries
4- Cran berries

تحت شرایط مطلوب، گوگرد ٤ تا ٥ بار مؤثرتر از سولفات فرو در ایجاد اسیدیته می‌باشد. هرچند سولفات فرو سبب واکنش سریع نبات می‌شود. گوگرد ارزان‌تر بوده و به آسانی به‌دست می‌آید و معمولاً مصارف دیگری نیز دارد مقادیر سولفات فرو و گوگرد که باید به‌کار روند در ارتباط با ظرفیت بافری خاک و pH اولیه‌ی آن می‌باشد.

کنترل امراض گیاهی: عوامل بیماری‌زای ناشی از خاک معمولاً به اسیدیته‌ی خاک که مصرف گوگرد عامل تقویت آن است، حساس می‌باشند. برای نمونه گال[1] سیب‌زمینی که به‌وسیله‌ی یک اکتینومیست به‌وجود می‌آید به سطح غده‌ی سیب‌زمینی حمله می‌کند و ظاهری بی‌رنگ ناهموار را به‌جای می‌گذارد که سبب ازبین‌رفتن بازارپسندی سیب‌زمینی می‌شود. وقتی گوگرد برای پایین‌آوردن pH خاک به حدود ٥/٣ و یا کمتر اضافه می‌گردد، بیماری‌زایی اکتینومیست بسیار کاهش می‌یابد. هرچند مصرف گوگرد به‌منظور افزایش اسیدیته در مدیریت اراضی به‌خصوص تناوب زراعی، تاثیر می‌گذارد. در انتخاب محصولات متعاقب که تحت تأثیر منفی اسیدیته‌ی پایین قرار می‌گیرند باید ملاحظات لازم را معمول نمود.

۱۰-۹ کاهش اسیدیته‌ی خاک: مواد آهک‌دهی

اسیدیته‌ی خاک معمولاً با افزودن ترکیبات کربنات‌ها، اکسیدها و هیدراکسیدهای کلسیم و منیزیم که به آن‌ها آهک‌های کشاورزی می‌گویند کاهش می‌یابد. همچنین خاکستر چوب به‌طور موضعی برای کاهش اسیدیته به‌کار می‌رود. وقتی خاک خیلی اسیدی باشد رشد محصول به‌طور چشم‌گیری با آهک‌دادن خاک بهبود خواهد یافت (شکل ۲۱-۹).

انواع کربنات‌ها

منابع کربناتی آهک شامل مارل، صدف خوراکی، لجن آهکی[2]، و کربنات‌های ته‌نشین شده می‌باشند، اما سنگ‌آهک آسیاب‌شده معمول‌ترین آن‌ها بوده و از تمام مواد آهکی دیگر بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. دو کانی مهم که در سنگ آهک‌ها وجود دارند عباتند از کلسیت، که عمدتاً کربنات کلسیم بوده ($CaCO_3$) و دولومیت که عمدتاً کربنات مضاعف کلسیم و منیزیم می‌باشد [$CaMg(CO_3)_2$]. این کانی‌ها به نسبت‌های متفاوت در سنگ آهک وجود دارند. وقتی دولومیت وجود نداشته و یا اندک باشد، به سنگ آهک، آهک کلسیتی اطلاق گردد و با افزایش منیزیم، به آن آهک دولومیتی گفته می‌شود.



شکل ۲۱-۹ یونجه در خاک‌های اسیدی رشد نمی‌کند (بخش جلویی عکس) اما با دادن آهک به‌خوبی واکنش نشان می‌دهد (قسمت عقبی عکس).

1 - Potato scab
2 - Basic slag

انواع اکسیدها و هیدراکسیدها

دو شکل دیگر آهک برای مصارف جزیی مانند باغچه‌های خانگی که ممکن است یک تغییر خیلی سریع در pH خاک مورد نیاز باشد، از اهمیت خاص برخوردارند. یکی از این دو نوع اکسید کلسیم (CaO) است که بعضی مواقع به آن آهک سوخته[1] و یا آهک سریع[2] گفته می‌شود؛ نوع دیگر هیدراکسید کلسیم $Ca(OH)_2$ است که بعضی مواقع به آن آب آهک (آهک هیدراته[3]) گفته می‌شود. کاربرد این دو نوع پردردسرتر از آهک معمولی بوده و نیز گران‌تر می‌باشند. اما هنگامی که تنظیم سریع آهک خاک موردنیاز است آن‌ها همچنان بازار خود را خواهند داشت. تابلو ۲-۹ چگونگی تهیه آن‌ها را نشان داده و بعضی از خصوصیات آن‌ها را مشخص می‌کند.

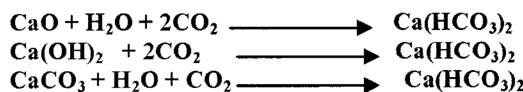
آهک‌های دولومیتی و اکسیدها و هیدراکسی‌های ساخته شده از آن‌ها هم کلسیم و هم منیزیم را در نظام خاک – نبات تهیه می‌کنند. در مواقعی که منیزیم قابل استفاده خاک اندک است، دولومیت و یا آهک دولومیتی محصولی است که باید انتخاب گردد. وقتی منیزیم کافی وجود دارد، برای جلوگیری از تراکم اضافی منیزیم و ازبین‌رفتن اثرات مثبت آهک بر خصوصیات فیزیکی خاک (فصل ۷-٤ را مشاهده کنید) آهک کلسیمی باید مصرف گردد. از توانایی عرضه‌ی عناصر غذایی به‌وسیله‌ی تمام مواد آهکی نباید چشم‌پوشی کرد. ممکن است در خاک‌های بسیارهوازده مقادیر اندک آهک درمقایسه با تغییر pH ، به‌علت ارتقاء تغذیه کلسیم ومنیزیم بیشتر سبب بهبود محصول گردد.

۹-۱۱ واکنش‌های آهک در خاک

هنگامی که ترکیبات کلسیم و منیزیم در خاک‌های اسیدی مصرف گردند، با گازکربنیک و یا همتافت اسیدی وارد واکنش می‌شوند، این واکنش‌ها به‌ترتیب مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

واکنش با گازکربنیک

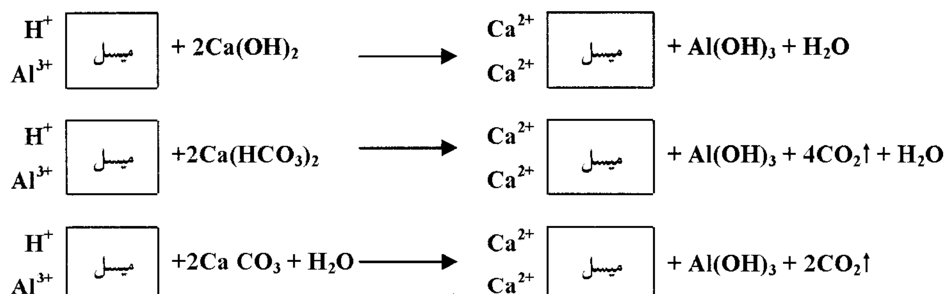
تمام مواد آهکی، چه اکسیدها، هیدراکسیدها و یا کربنات‌ها هنگامی که در یک خاک اسیدی مصرف شوند با گازکربنیک و آب وارد واکنش شده و بی‌کربنات تشکیل می‌دهند. فشار جزیی گازکربنیک، که در هوای خاک معمولاً چند صد برابر این فشار در هوای نیوار می‌باشد، چنان زیاد است که می‌تواند این واکنش‌ها را به سمت راست ببرد:



$$CaO + H_2O + 2CO_2 \longrightarrow Ca(HCO_3)_2$$
$$Ca(OH)_2 + 2CO_2 \longrightarrow Ca(HCO_3)_2$$
$$CaCO_3 + H_2O + CO_2 \longrightarrow Ca(HCO_3)_2$$

واکنش با کلوییدهای خاک

این مواد آهکی مستقیماً با خاک‌های اسیدی وارد واکنش می‌گردند، کلسیم و منیزیم جایگزین هیدروژن و آلومینیوم در روی همتافت کلوییدی می‌شوند. جذب در ارتباط با کلسیم با فرض جایگزینی ین‌های هیدروژن ممکن است به‌شرح زیر انجام می‌شود



عدم انحلال $Al(OH)_3$ و آزادشدن گازکربنیک به نیوار سبب راندن این واکنش به سمت راست می‌شود. به‌علاوه جذب ین‌های کلسیم و منیزیم سبب بالارفتن درصد اشباع بازی همتافت کلوییدی می‌شود و pH محلول خاک در ارتباط با آن افزایش می‌یابد.

---

[1] -Burned lime
[2] -Quick lime
[3] -Hydrated lime

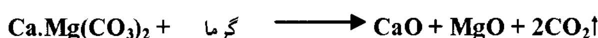
تابلو ۲-۹ ساخت و استفاده از مواد آهکی

سنگ آهک: در دوران‌های پیشین زمین‌شناسی، کربنات‌های کلسیم و منیزیم در کف دریاچه‌ها و دریاهای قدیم تـه‌نشـین شـده و براثـر فشار لایه‌های بالایی، کربنات‌ها به لایه‌های سنگ آهک تبدیل شدند. امروزه آن‌ها خرد گردیده، خیلی‌ریز آسیاب شده و برای اسـتعمال در خاک‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. کلسیت ($CaCO_3$) و دولومیت [$CaMg(CO_3)_2$] کانی‌های موجود در سنگ آهک مـی‌باشـد. آن‌هـا کم‌هزینه‌ترین وسیله را برای مقابله با اسیدیته‌ی خاک فراهم نموده، معمولاً در حجم‌های بزرگ انبار شده، به‌وسیله‌ی بارکش‌هـا در مزرعـه استعمال می‌گردند.

اکسید آهک: آهک سوخته : اکسید آهک با حرارت‌دادن سنگ آهک در حدود ۸۵۰ درجه‌ی سانتیگراد و جداکردن گازکربنیک در طی واکنش‌هایی مانند زیر تولید می‌شود:



$$CaCO_3 + \text{گرما} \longrightarrow CaO + CO_2\uparrow$$



$$Ca.Mg(CO_3)_2 + \text{گرما} \longrightarrow CaO + MgO + 2CO_2\uparrow$$

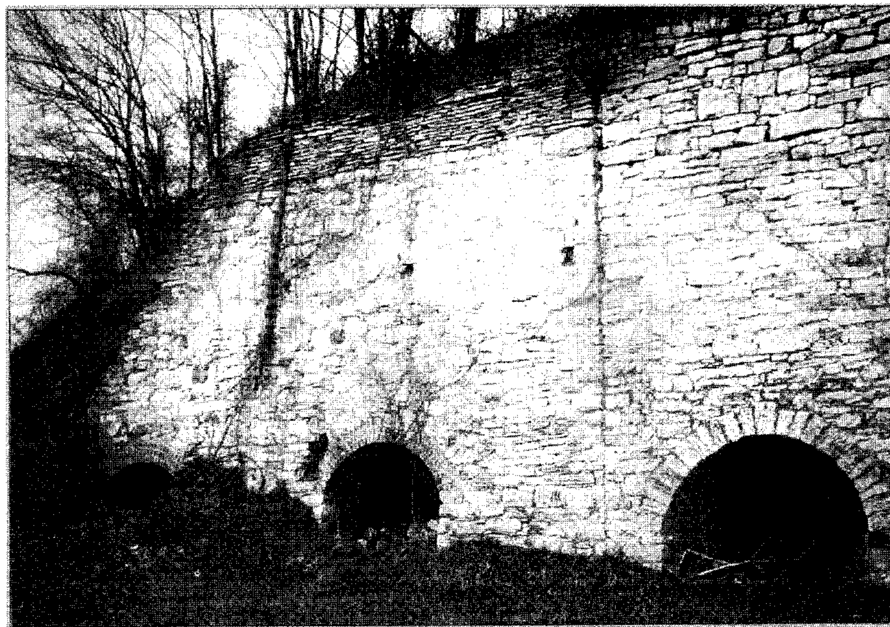
کارکردن با اکسیدآهک مشکل بوده و معمولاً در کیسه‌های ضدآب نگهداری می‌شوند، بسیار گران‌تر از آهک بوده اما با سرعت بسیار وارد واکنش با خاک گردیده و پس از مصرف، pH بالایی حاصل می‌شود.

هیدراکسید آهک : آب آهک: با اضافه‌کردن آب گرم به اکسید آهک هیدراکسید آهک[$Ca(OH)_2 + Mg(OH)_2$] تشکیل می‌شود



$$CaO + MgO + 2H_2O \longrightarrow Ca(OH)_2 + Mg(OH)_2$$

هیدراکسید آهک گرد سفید رنگی بوده و کارکردن با آن مشکل‌تر از آهک سوخته می‌باشد. ایـن نـوع نـه فقـط بـه‌خـاطر سـلامت استفاده‌کننده بلکه به‌خاطر حفظ آن از برگشت و تبدیل به $CaCO_3 + Mg\ CO_3$ براثر واکنش با گاز کربنیک نیوار باید در کیسه نگهداری شود. این نوع گرچه گران‌تر از آهک است، امّا خیلی سریع با خاک وارد واکنش می‌شود: استفاده از هـر دو هیدراکسـید و اکسـید آهـک عمدتاً محدود به باغچه‌های خانگی و محصولات خاص است.

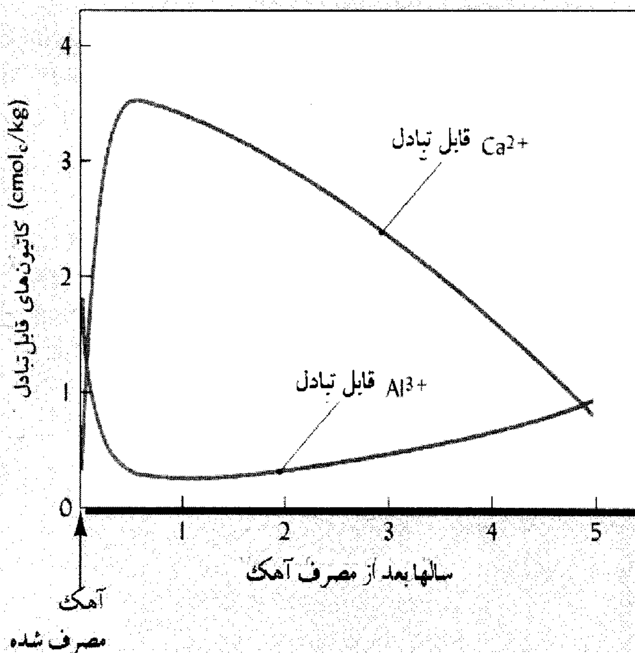


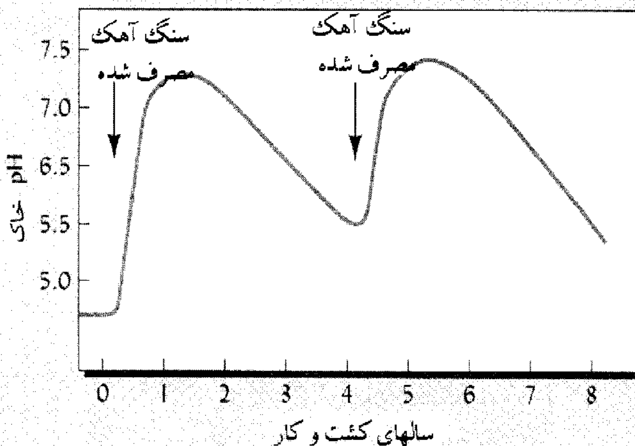
عکس: خرابه‌های یک کوره آهک‌پزی در قرن ۱۹ درایالت مریلند که برای تبدیل سنگ آهک به آهک سوخته و سپس به آب آهک مورد استفاده بوده است.

تخلیه کلسیم و منیزیم

با برداشت ترکیبات کلسیم و منیزیم محلول به‌وسیله‌ی گیاهان درحال رشد و یا آبشویی آن‌ها، درصد اشباع بازی و pH خاک به تدریج کاهش یافته، نهایتاً مصرف آهک بار دیگر ضرورت پیدا می‌کند. این نوع فعالیت دوره‌ای شامل اکثر کلسیم و منیزیم اضافه شده به خاک‌های زراعی در مناطق مرطوب می‌گردد (شکل ۲۲-۹ را مشاهده کنید).

نیاز به استعمال دوباره آهک درمناطق مرطوب بیانگر هدررفت قابل توجه کلسیم و منیزیم در خاک می‌باشد. جدول ۱-۹ هدررفت‌های این عناصر را براثر آبشویی درمقایسه با برداشت نباتات و فرسایش خاک نشان می‌دهد. توجه کنید که هدررفت کلی از هر سه منبع اتلاف (آبشویی، فرسایش و برداشت محصولات) در خاک‌های کشاورزی مناطق مرطوب، به‌صورت کربنات، به حدود یک مگاگرم (۱ تن) در هکتار در سال می‌رسد. همین‌طور روش‌های قطع درختان که سبب در معرض قرارگرفتن خاک برای فرسایش و آبشویی عناصر غذایی می‌گردد، سبب هدررفت سریع کلسیم و منیزیم از بوم‌سامان جنگلی می‌شود.





شکل ۲۲-۹ نموداری که تشریح می‌کند چرا استعمال مجدد سنگ آهک برای حفظ تعادل شیمیایی مناسب در خاک لازم می‌باشد (بالا). وقتی در خاکی آهک داده می‌شود کلسیم قابل‌تبادل افزایش یافته و آلومینیوم قابل‌تبادل همان‌طورکه نمودار داده‌ها از یک اکسی‌سول در برزیل نشان می‌دهد، کاهش می‌یابد. در طول چند سال موقعیت برعکس می‌شود، کلسیم کاهش یافته و آلومینیوم افزایش می‌یابد. (پایین) pH خاک به‌همین‌ترتیب پس از اضافه‌کردن ٦-٤ مگاگرم آهک به یک خاک منطقه معتدل افزایش می‌یابد. pH پس از یک‌سال به اوج منحنی می‌رسد. آبشویی و برداشت کلسیم ومنیزیم به‌وسیله‌ی زراعت‌ها آن‌ها را تخلیه کرده و در طی زمان pH کاهش یافته تا این‌که مصرف دوباره آهک لازم باشد.

جدول ۱-۹ هدررفت در یک خاک براثر فرسایش، برداشت محصول و آبشویی در منطقه‌ی مرطوب معتدل.

مقادیر بر حسب کیلوگرم در هکتار در سال می‌باشد.

شیوه‌ی برداشت	کلسیم بر حسب Ca	کلسیم بر حسب $CaCO_3$	منیزیم بر حسب Mg	منیزیم بر حسب $MgCO_3$
براثر فرسایش آزمایش‌های میسوری در ٤ درصد شیب	۹۵	۲۳۸	۳۳	۱۱۵
به‌وسیله‌ی محصول متوسط در یک تناوب استاندارد	۵۰	۱۲۵	۲۵	۸۸
براثر آبشویی از یک لوم سیلتی معرف	۱۱۵	۲۸۸	۲۵	۸۸
جمع از اراضی کشاورزی		٦۵۱		۲۹۱
هدررفت در رودخانه‌هایی که حوزه‌ی آب‌خیز کاج داگلاس را زه‌کشی می‌کنند				
کف‌تراشی و سوزاندن پس‌ماندها	۸۱	۲۰۳	۲٦	۹۱
جنگل دست‌نخورده	۲٦	٦۵	۸	۲۸

۱۲-۹ میزان آهک: مقادیر موردنیاز

میزان مواد آهکی لازم برای ایجاد pH موردنظر به‌وسیله‌ی عوامل چندی تعیین می‌شود، که شامل (۱) مقدار تغییر لازم در pH (۲) ظرفیت بافری خاک (۳) ترکیب شیمیایی مواد آهکی مورد مصرف (٤)ریزبودن مواد آهکی می‌باشد.

دامنه pH بهینه برای نباتات مختلف که در فصل ۷-۹ مطرح گردید، میزان افزایش مورد نظر را مشخص می‌کند. روشن است که pH بالاتری برای یونجه درمقایسه با ذرت و لوبیاروغنی مورد نیاز می‌باشد. در فصل ٤-۹، اختلافات در ظرفیت بافری خاک‌ها تشریح گردید. رابطه ظرفیت بافری با میزان آهک مورد نیاز خاک‌ها دارای بافت متفاوت در شکل ۲۳-۹ نشان داده شده است. به‌دلیل ظرفیت بافری بالا، میزان آهک مورد نیاز یک رس بافت ریز بسیار بالاتر از یک خاک شنی و یا لوم با همان pH است.

ظرفیت بافری و نیاز آهک

خاک‌ها در یک منطقه با خصوصیات شیمیایی مشابه یک رابطه نسبتاً معمول را بین pH و اشباع بازی به نمایش می‌گذارند (شکل ۸-۹). با دانستن pH یک خاک آهک داده نشده، ظرفیت تبادل کاتیونی و pH مورد نظر برای نبات مورد کشت، استفاده از این رابطه برای تعیین مقدار تقریبی مواد اصلاح‌کننده آهکی امکان‌پذیر است. تابلو ۳-۹ چگونگی تعیین میزان آهک را تشریح می‌کند.

روش دیگر برای تعیین میزان آهک موردنیاز، که به‌طوربسیار گسترده مورد استفاده قرارگرفته است به تعادل رساندن یک نمونه از خاک با یک محلول بافر است که دارای مقدار کمی از نمک‌های خنثی می‌باشد. هرچه اسیدیته کل خاک بیشتر باشد توان بافری محلول بیشتر از بین رفته وpH محلول کاهش می‌یابد. میزان کاهش در ارتباط با میزان اسیدیته‌ی آزادشده از خاک است. محلول‌های بافری مختلف برای خاک‌ها باCEC کم مانند بعضی از اولتی‌سول‌ها درمقایسه با الفی‌سول‌ها که درآن‌ها CEC مقداری بیشتر است به‌کار می‌رود (شکل۲٤-۹).

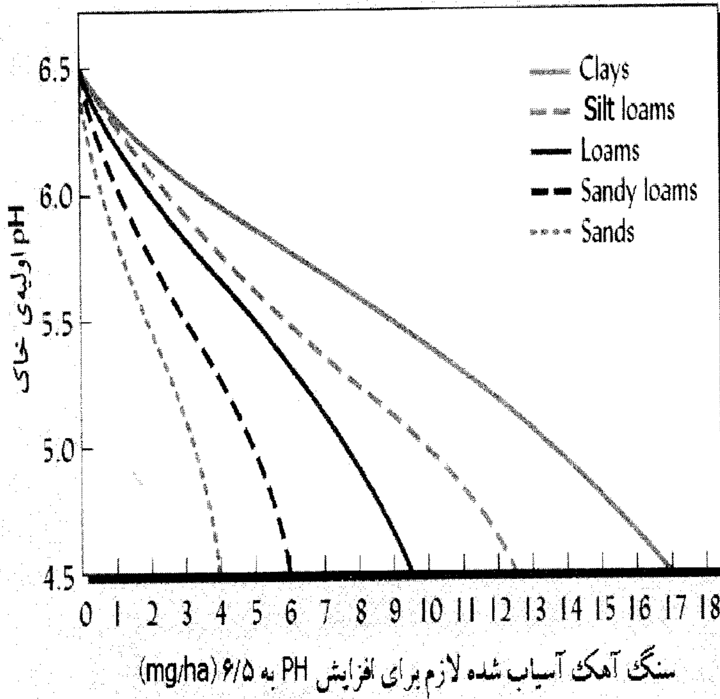
تأثیر ترکیب شیمیایی

ترکیب شیمیایی مواد آهکی اصلاح‌کننده اثرات طولانی مدت آن‌ها را بر pH خاک و مقدار مواد شیمیایی لازم از هر نوع را برای دستیابی به این اثرات، تعیین و مقدار کلسیم و منیزیم عرضه شده را مشخص می‌سازد.

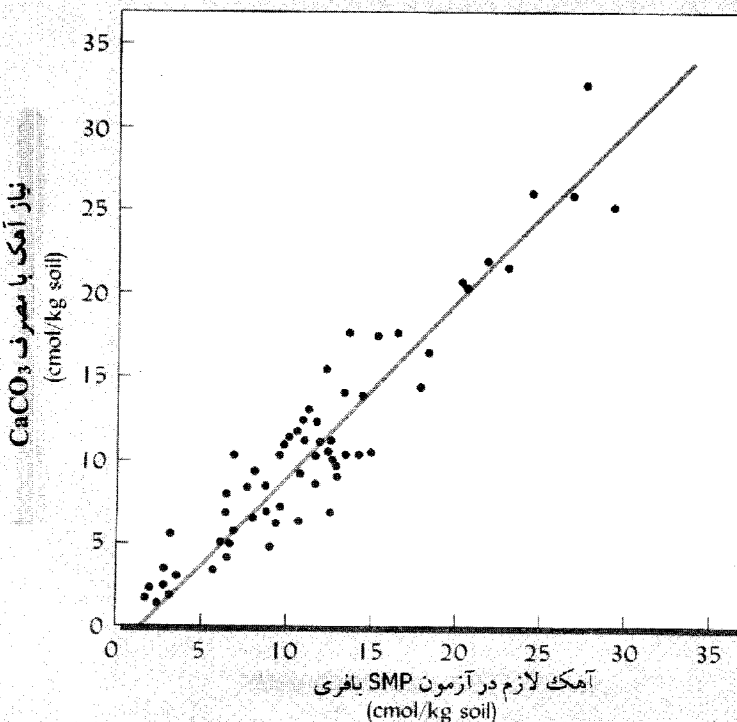
برای اطمینان از این‌که استفاده‌کنندگان از میزان مواد آهکی کاملاً مطلع باشند، قوانین حاکم بر فروش آن‌ها نیازمند تضمین‌هایی در مورد ترکیب شیمیایی آن‌ها است. تابلو ٤-۹ را مشاهده کنید.

ریزبودن سنگ آهک و واکنش‌پذیری آن

هرچه مواد آهکی ریزتر باشند، سریع‌تر با خاک وارد واکنش خواهند شد. اکسید و هیدراکسید آهک در بازار به‌صورت گرد وجود دارند. بنابراین ریزبودن آن‌ها همیشه مورد رضایت است اما اگر سنگ آهک به‌خوبی ریز نشده باشد، به آهستگی با خاک وارد واکنش شده و عکس‌العمل کمتری را در نبات ایجاد خواهد کرد (شکل۲۵-۹). به این دلیل تضمین ریزبودن معمولاً برای سنگ آهک لازم است. مواد با حداقل ۵۰ درصد ذرات که از الک ٦۰ چشمه بگذرد (کمتر از ۰/۲۵ میلیمتر در قطر) برای اکثر مقاصد آهک‌دادن کاملاً رضایت‌بخش می‌باشند.



شکل ۲۳-۹ تأثیر کلاس بافت بر میزان آهک مورد نیاز برای بالا بردن pH خاک‌ها از میزان اولیه آن‌ها به pH ۶/۵. توجه کنید که برای خاک‌های بافت ریز، که دارای میزان رس و ماده‌ی آلی بیشتر و درنتیجه ظرفیت بافری بالاتری می‌باشند میزان مصرف آهک بالاتر است. این خاک‌ها مختص مناطق سرد و مرطوب بوده که در آن‌ها رس‌های ۲:۱ غالب می‌باشند. در اقالیم گرمسیر مانند جنوب شرقی آمریکا، که رس‌های ۱:۱ و اکسیدهای Fe و Al معمولاً غالب می‌باشند، میزان آهک مورد نظر بیشتر از نصف و یا ثلث میزان مقدار توصیه شده نیست. هرچند در تمام موارد نباید بیشتر از ۷ تا ۹ تن در هکتار در هر نوبت مصرف گردد. اگر آهک بیشتری مورد نیاز باشد مصرف بعدی باید بعد از ۲ یا ۳ سال انجام گیرد.



شکل ۲٤-۹ رابطه‌ی بین آهک مورد نیاز تعدادی از خاک‌های کانادا که با مجاور-نمودن خاک‌ها با $CaCO_3$ در مدت ۸ هفته (محور قایم)، با آزمون نیاز آهک بافری SMP فقط به‌مدت حدود ۳۰ دقیقه (محور افقی) تعیین شده‌است. مزیت صرفه‌جویی در زمان، آزمون SMP را مطلوب ساخته است نام آزمون SMP از نویسندگان مقالات Shoemaker، Mc.lean و Pratt گرفته شده است.

تابلو ۳-۹ محاسبه نیاز آهک اصلاحی

فرض کنید شما باید مقدار آهک مورد نیاز را برای تولید محصول گیاهان نیازمند به pH بالا، مانند مارچوبه را در یک زمین لومی که اخیراً کاملاً اسیدی بوده است (pH=۵) توصیه کنید. ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC) حدود ۱۰ سانتی‌مول بار در کیلوگرم و شما می‌خواهید pH را به ٦/٨ برسانید. با فرض این‌که رابطه pH و درصد اشباع بازی همانند آن‌چه در شکل ۸-۹ نشان داده شده است، می‌باشد. خاک درحال‌حاضر دارای ۵۰ درصد اشباع بازی (BS) است و نیازمند آوردن به ۹۰ درصد اشباع (BS) برای رسیدن به pH هدف به‌مقدار ٦/٨ می‌باشد. چه مقدار آهک دولومیتی معادل $CaCO_3$ ۹۰ درصد لازم است استعمال گردد تا تغییرات لازم را در pH به‌وجود آورد؟

اول باید میزان کلسیم مورد نیاز خاک را بر حسب سانتی‌مول در کیلوگرم برای ایجاد تغییر لازم، بدانیم. از آن‌جاکه CEC ۱۰ سانتی‌مول بار در کیلوگرم است و ما نیاز به ٤۰ درصد تغییر در BS داریم بنابراین Ca^{2+} مورد نیاز عبارتست از:

$$۱۰ cmol_c / Kg \times {}^{۴۰}/_{۱۰۰} = ۴\ cmol_c\ {}^{Ca}/_{Kg\ خاک}$$

دوم از آن‌جاکه کلسیم دو ظرفیت دارد 4 cmolc می‌تواند بر حسب گرم Ca^{2+} با ضرب‌کردن آن در وزن مولکولی کلسیم و تقسیم آن بر دو و سپس تقسیم عدد حاصل بر ۱۰۰ به‌دست آید

$$۴\ cmol_c\ Ca^{2+}/_{Kg\ خاک} \times ({}^{۴۰}/_{۲} \times {}^{۱}/_{۱۰۰}) = ۰/۸gr\ Ca^{2+}/_{Kg\ خاک}$$

سوم، مقدار آهک مورد نیاز را برای تأمین ۰/۸ گرم کلسیم با ضرب آن در نسبت وزن کربنات کلسیم به‌دست می‌آوریم

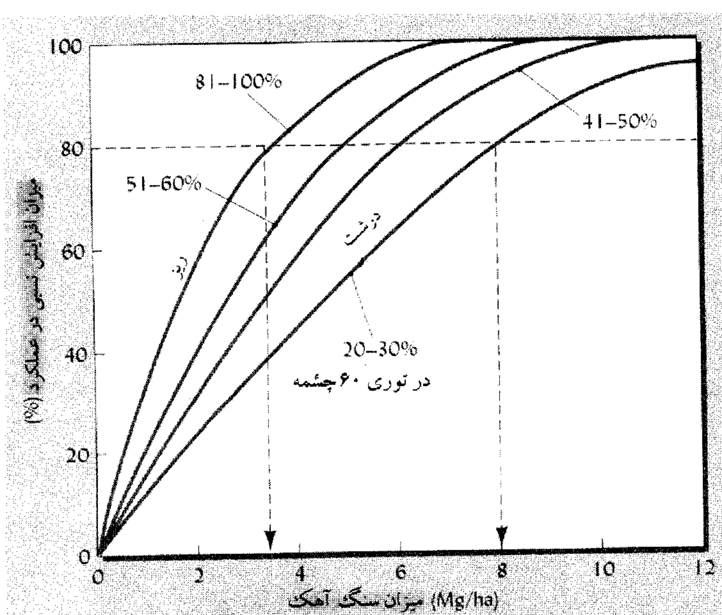
$$۰/۸g\ Ca^{2+}/_{Kg} \times {}^{۱۰۰CaCO_3}/_{۴۰} = ۲g\ {}^{CaCO_3}/_{Kg خاک}$$

چهارم برای تبدیل ۲ گرم کربنات کلسیم در هر کیلوگرم خاک به جرم مورد نیاز برای تغییر pH یک هکتار خاک با عمق شخم HFS[1] باید آن‌را در $HFS/ ۱۰^{۶} \times ۲/۲$ کیلوگرم ضرب کنیم.

$$۲g\ {}^{CaCO_3}/_{Kg} \times ۲/۲ \times ۱۰^{۶}\ {}^{Kg}/_{HFS} = ۴/۴ \times ۱۰^{۶}\ g = ۴/۴Mg\ {}^{CaCO_3}/_{HFS}$$

پنجم از آن‌جاکه هم والانسی با $CaCO_3$، فقط ۹۰ می‌باشد ۱۰۰ کیلو $MgCO_3$ لازم است که به‌جای این ۹۰ کیلو$CaCO_3$ خالص عمل کند بنابراین مقدار آهک دولومیتی مورد نیاز با ضریب $۱۰۰/۹۰$ تنظیم خواهد شد.

$$۴/۴ \times {}^{۱۰۰}/_{۹۰} = ۴/۹\ {}^{Mg}/_{HFS}$$



شکل ۲۵-۹ اثر ریزبودن آهک در واکنش نبات به مقادیر آهک اضافه شده در تعدادی آزمایش‌های صحرایی. توجه داشته باشید که برای به‌دست‌آوردن حداقل ۸۰ درصد حداکثر عملکرد (خط افقی بریده بریده) حدود ۸ تن در هکتار سنگ آهک درشت که ۲۰ تا ۳۰٪ ذرات آن‌ها از الک چشمه‌ی ٦۰ بگذرد لازم می‌باشد. میزان عملکرد مشابه با مصرف کمتر از ٤ تن سنگ آهک ریز (۸۱ تا ۱۰۰ درصد آن از الک چشمه ٦۰ می‌گذرد) به‌دست می‌آید.

[1] - Hectar Furrow Slice

تابلو ٤-۹ تضمین شیمیایی و معادل‌ها

قوانین ایجاب کرده‌اند تا ترکیب شیمیایی مواد در آهک‌دادن تضمین گردد. راه‌های تشریح این ترکیبات به‌وسیله‌ی یک مقام مسؤول با مسؤول دیگر متفاوت بوده، امّا شامل تضمین‌هایی در مواد محتوی آن است که به‌وسیله‌ی یک یا چند روش زیر بیـان گـردد: (۱) بـر حسب عناصر کلسیم و منیزیم (۲) بر حسب اکسیدهای کلسیم و منیزیم (۳) بر حسب معادل CaO (توانایی خنثی‌کردن تمام ترکیباتی که بر حسب CaO بیان می‌شوند) (٤) بر حسب کل کربنات‌ها ($CaCO_3MgCO_3$)(٥) بر حسب $CaCO_3$ معادل (توانایی خنثی‌کردن تمـام ترکیباتی که بر حسب $CaCO_3$ بیان می‌شوند).

مزایا و معایبی در هرکدام از این روش‌های تعیین مؤثربودن مواد آهکی موجود است. هرچند تبدیل هر یک از این روش‌ها به روش دیگر با استفاده از معادل شیمیایی آسان است. به‌عبارت دیگر، یک اتم (و یا مولکول) $CaCO_3$, MgO, CaO, Mg, Ca و یـا $MgCO_3$ همان اسیدیته را خنثی می‌کنند. درنتیجه برای مقایسه بین مواد آهک‌دار کافی است که آن‌را در نسبت وزن مولکولی آن‌هـا ضـرب کنـیم برای مثال برای محاسبه معادل $CaCO_3$ در یک آهک خالص کوره‌ی CaO، کافی است که مقدار آن‌را در نسبت وزن مولکولی $CaCO_3$ به CaO ضرب کنیم.

$$\frac{CaCO_3}{CaO}=\frac{100}{56}=1.786$$

۱ تن از آهک خالص کوره همان مقدار اسیدیته را خنثی خواهد کرد که ۱۷۸٦ کیلوگرم سنگ آهک خالص خنثـی کنـد. بـا اسـتفاده از معادل شیمیایی می‌توان روش‌های مختلف بیان توانایی آهک‌دادن چهار نوع ماده : (۱) آهک کوره (۲) آب آهک (۳) آهک دولومیت (٤) آهک کلسیت راکه هر یک ۹۵ درصد خالص باشند را با هم مقایسه نمود.

روش‌های بیان ترکیب

مواد	میزان درصد مواد واقعی	درصد عنصر		درصد اکسید مرسوم		درصد معادل CaO	درصد کل کربناتها	درصد $CaCO_3$ معادل *
		کلسیم	منیزیم	CaO	MgO			
آهک کوره	CaO ۷۷	۵۵		۷۷	---	۱۰۲/۲	-	۱۸۲/۵
	MgO ۱۸	-	۱۰/۹	-	۱۸			
آب آهک	$Ca(OH)_2$ ۷۵	٤۰/۵	---	۵۸/٦	---	۷٦	-	۱۳۵/۸
	$Mg(OH)_2$ ۲۰		۸/۳	--	۱۳/۸			
آهک کلسیتی	$CaCO_3$ ۹۵	۳۸	-	۵۳/۲	-	۵۳/۲	۹۵	۹۵
آهک دو لومیتی	$CaCO_3$ ۳۵	(۱٤)	-	(۱۹/٦)	-	(۱۹/٦)	۳۵	(۳۵)
	$CaMg(CO_3)_2$ ٦۰	(۱۳)	(۷/۹)	(۱۸/۲)	(۱۳/۱)	(۳٦/٤)	٦۰	(٦۵)
		۲۷	۷/۹	۳۷/۸	۱۳/۱	۵٦	۹۵	۱۰۰

* بعضی مواقع به آن توان کل خنثی‌شدن اطلاق می‌شود.

۱۳-۹ ملاحظات عملی

انتخاب مواد آهکی اصلاح‌کننده تحت سیطره‌ی هزینه حمل‌ونقل مقادیر زیاد آن‌ها از منبع اولیه است، بنابراین مقادیر موردمصرف نبایـد از آن‌چه برای تأمین نیازهای خاک و زراعت لازم است بیشتر گشته و در هیچ شرایطی نباید از ۷ تا ۹ تن‌درهکتار بیشتر شود.

در انتخاب مواد آهکی اصلاحی باید متوجه نیاز به منیزیم به‌عنوان یک عنصر غذایی بود و اگر مقدار منیزیم پـایین باشـد از دولومیـت استفاده کرد.

آهک باید همراه و یا زودتر از محصولی که مطلوب‌ترین عکس‌العمل را به مصرف آن نشان می‌دهد استعمال گردد. بنابراین، در یک تناوب ذرت، گندم و دوسال یونجه، آهک باید بعد از برداشت گندم برای ایجاد مطلوب‌ترین تأثیر در رشد محصول یونجه‌ی بعدی استعمال گردد. از آن‌جاکه اکثراً آهک با استفاده از کامیون‌های سنگین در حجم‌های زیاد توزیع می‌گردد استعمال آن معمولاً در کلش و یا پس‌مانده گیاه قبلی انجام می‌شود تا از تراکم نامطلوب خاک به‌وسیله‌ی چرخ‌های کامیون ممانعت گردد. درصورت مصرف آهک در زمین تازه شخم شده تراکم ایجاد خواهد شد.

موقعیت‌های خاص

توزیع آهک در حوزه‌های آب‌خیز جنگلی به‌ندرت عملی می‌باشد. این مناطق برای آهک‌پخش‌کن‌های زمینی قابل‌دستیابی نبوده و توزیع دستی بسیار ملالت‌بار و پرهزینه است. در بعضی موارد مالکین به استفاده از هلی‌کوپتر برای پخش مقادیر اندکی از این مواد آهکی روی آورده‌اند. برای خاک‌های خیلی شنی اسیدی این کاربرد می‌تواند اثرات زیان‌بار اسیدیته خاک را اصلاح، و کلسیم کافی را برای درختان تأمین کند.

در بعضی از نظام‌های خاک - زراعت مسأله داخل‌نمودن و مخلوط‌کردن آهک با مشکل مواجه می‌باشد. برای مثال در نظام[1] خاک‌ورزی فاقد شخم و شیار، خاک مورد شخم قرار نمی‌گیرد. به‌علاوه این نظام تمایل دارد که اسیدیته‌ی لایه‌های فوقانی خاک را که پس‌مانده‌های گیاهی در آن تمرکز یافته‌اند بالا ببرد. گرچه مشخص شده است که کرم‌های خاکی در داخل‌کردن آهک سطحی موثر می‌باشند (شکل ۲۷-۹ را مشاهده کنید). توصیه شده است که سنگ آهک در یک خاک اسیدی قبل از شروع خاک‌ورزی صفر با خاک مخلوط گردد. استعمال سطحی بعدی آهک باید به‌مقدار کافی برای خنثی‌کردن اسیدیته‌ی تشکیل شده در سطح انجام گیرد.

چمن ها، زمین‌های گلف و سایر اراضی چمنی تورف‌زار، با مشکلات آهک‌دادن و مخلوط‌کردن کربنات کلسیم، حتی بیشتر از نظام خاک‌ورزی بدون شخم و شیار مواجه می‌باشند. وقتی این اراضی اولین بار بذرکاری می‌شوند باید اطمینان داشت که pH خاک به‌مقدار رضایت‌بخش است. با برنامه‌ریزی زمانی خاص، آهک‌دادن آتی و انجام عملیات سالانه‌ی خاک‌ورزی تهویه‌ای، که منافذی را در داخل خاک باقی می‌گذارد، مقداری حرکت روبه‌پایین آهک می‌تواند تحت تأثیر قرار گیرد. این به‌معنی کاربرد مکرر اما مقادیر کمتر آهک می‌باشد.



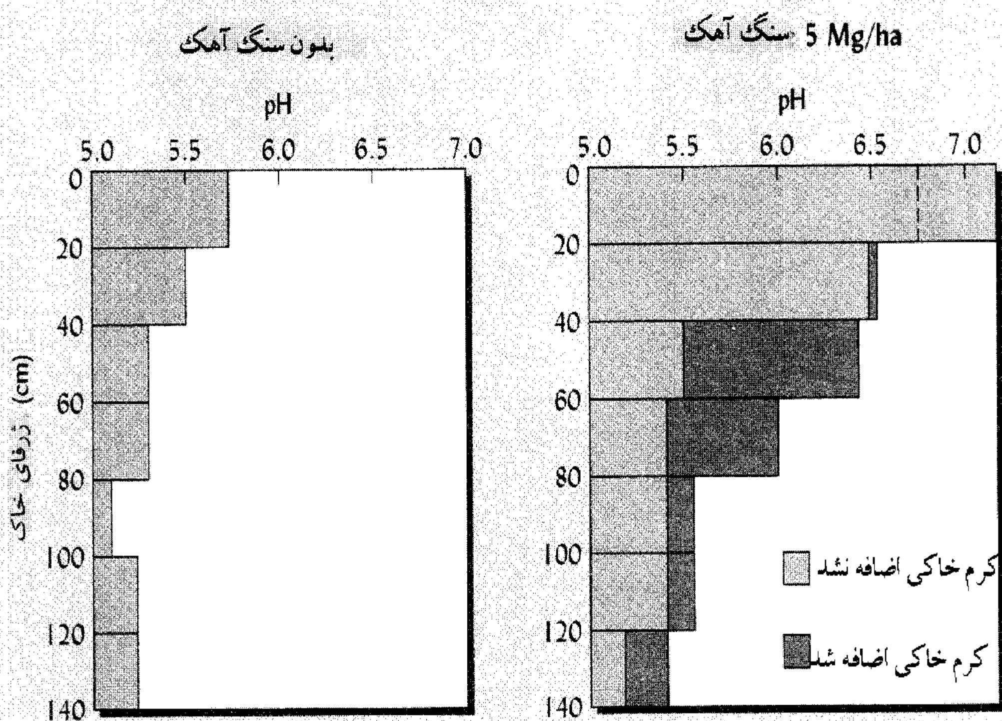
شکل ۲۶-۹ مصرف فله‌ای آهک با کامیون‌های تجهیزشده خاص، گسترده‌ترین روش مصرف مواد آهکی است. به‌دلیل وزن سنگین این کامیون‌ها بیشتر آهک بر روی پس‌مانده‌های گیاهی و کلش مصرف گردیده و با شخم به زیر خاک برگردانده می‌شود. در بسیاری موارد همین روش برای مصرف کودهای شیمیایی نیز به‌کار می‌رود.

[1]- No tillage

انتخاب گیاهان سازگار

اغلب منطقی‌تر این است که مسایل اسیدیته و قلیاییت خاک را با تغییر گیاه مورد نظر برای کشت به‌جای تلاش برای تغییر pH مرتفع نمود. نه‌تنها اختلافات چشم‌گیری در مقاومت به قلیاییت و اسیدیته در بین گونه‌های مختلف گیاهی موجود است، بلکه تنوع بسیار زیادی در بین نژادها در داخل یک گونه از نظر مقاومت به pH بالا و پایین وجود دارد. متخصصین اصلاح نبات از این تنوع برای معرفی ارقام گیاهان خوراکی که به شرایط خیلی اسیدی و یا قلیایی مقاوم می‌باشند برای کشت در سطوح وسیع استفاده می‌کنند (شکل ۲۸-۹). برای مثال، ارقام پرمحصول گندم که کاملاً به اسیدیته خاک و مقادیر بالای آلومینیوم مقاوم می‌باشند معرفی گردیده و در بعضی از مناطق گرمسیری که حتی آهک‌دادن متوسط از نظر اقتصادی عملی نیست، مورد استفاده می‌باشند. دانشمندان خاک و نبات باید برای بالابردن توان خانواده‌های کم‌درآمد جهت رفع نیازهای غذایی خود همکاری داشته باشند.

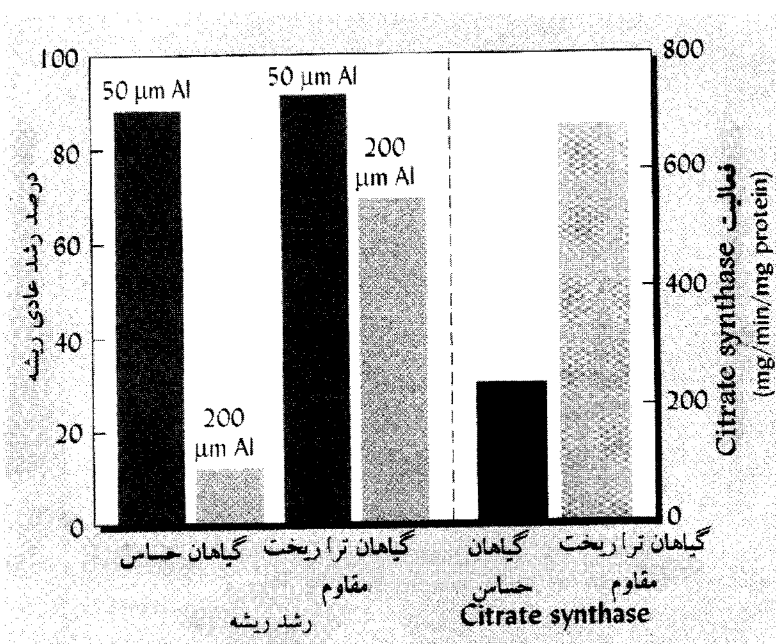
مثال دیگر از نقش اثرات متقابل خاک-نبات برای غلبه بر اثرات منفی اسیدیته‌ی خاک استفاده از گیاهان کود سبز (نباتاتی که اختصاصاً برای تأمین بقایای آلی کشت می‌شوند) برای غلبه بر سمیت آلومینیوم می‌باشد. یون‌های Al^{3+} در محلول خاک به‌شدت به سطوح مواد آلی در حال فساد جذب شده و در آن‌جا به‌وسیله‌ی پیوند چنگالی[1] به‌شدت نگهداری می‌شوند (شکل ۲-۹ را مشاهده کنید). نباتات کود سبز می‌توانند پس‌مانده‌های گیاهی را که برای تقویت این اثرات متقابل، و درنتیجه کاهش مقدار Al^{3+} در محلول خاک لازم است فراهم کنند. گیاهان حساس به آلومینیوم به‌دنبال گیاهان کود سبز می‌توانند کشت گردند. این نوع تعامل برای زارعین کشورهای کم درآمد که وجود آهک و عوامل هزینه‌بر موانعی درمقابل تنظیم pH خاک است، بسیار یاری‌رسان می‌باشد.



شکل۲۷-۹ اثر سنگ آهک مصرف شده در سطح با و بدون معرفی یک کرم خاکی فعال ***Allolobophora longa*** در pH اعماق مختلف یک خاک الفی‌سول. در قسمت چپ آهکی مصرف نشده است. آهک سبب افزایش pH (سمت راست) گردید، اما بدون معرفی کرم خاکی تغییر در pH عمدتاً در ۴۰ سانتی‌متری بالایی می‌باشد. کرم‌های خاکی ظاهراً آهک را به طبقات پایین خاک حرکت داده و بنابراین آن‌ها را برای رشد ریشه نبات بسیار مناسب می‌سازد.

---

[1]- Ligand



شکل۲۸-۹ (چپ) اثر دوسطح آلومینیوم در رشد ریشه‌ی گیاهان حساس به آلومینیوم در مقایسه با گیاهان مقاوم‌تراریخت که به‌وسیله‌ی انتقال ژن به‌وجود آمده‌اند. (راست) تولیدنسبی سیترات سینتاز، آنزیم محرک تولید اسید سیتریک که سبب ایجادیک همتافت (کیلات) با یون‌های آلومینیوم و جلوگیری از جذب آن‌ها به‌وسیله‌ی ریشه‌ی گیاه در ارقام حساس ومقاوم گردد. اطلاعات ارائه شده برای گیاه تنباکو است اما نتایج مشابهی برای گیاه کاساوا نیز به‌دست آمده است.

مصرف بیش از حد آهک

ملاحظه عملی دیگر، خطر آهک‌دادن بیش از حد است، مصرف آهک به حدی که pH حاصل برای رشد بهینه‌ی گیاه بسیار بالا باشد. آهک‌دادن اضافی در خاک‌های بافت ریز با ظرفیت بافری بالا خیلی معمول نیست، اما می‌تواند به آسانی در خاک‌های بافت سبک، که از نظر مقدار ماده‌ی آلی پایین می‌باشد صورت گیرد. نتایج زیان‌بار آهک اضافی شامل کمبود آهن، منگنز، مس، کاهش قابلیت استفاده فسفر، و محدودیت جذب بُر از محلول خاک است. آسان‌تر این است که در صورت نیاز مقدار کمی آهک بعدها مصرف گردد. ازبین‌بردن نتایج افزایش بی‌رویه مشکل است. بنابراین مواد آهکی باید محتاطانه به خاک‌های دارای ظرفیت بافری ضعیف اضافه گردد.

۹-۱٤ اصلاح اسیدیته در خاک‌های تحت‌الارضی

همان‌طورکه در بخش‌های قبلی تشریح گردید، آهک مصرف‌شده در سطح می‌تواند به آسانی اسیدیته‌ی خاک را در لایه‌های سطحی خاک اصلاح کند. خاک تحت‌الارض مناطق آهک داده شده اسید باقی می‌مانند، زیرا سنگ آهک به آسانی به پایین خاکرخ حرکت نخواهد کرد. رشد ریشه، و درنتیجه عملکرد نبات، اغلب به واسطه تحت‌الارض خیلی اسیدی دچار محدودیت می‌شود. سمیت آلومینیوم و/ یا کمبود کلسیم در بعضی از این خاک‌های تحت‌الارض اسیدی مشاهده شده است.

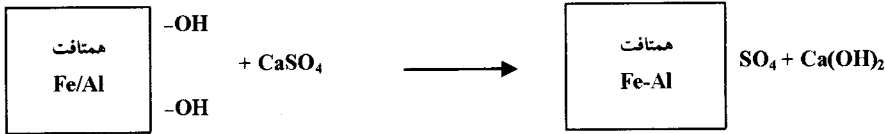
اصلاح و مرمت به‌وسیله‌ی گچ

محققین در قسمت جنوب شرقی ایالات متحده و در بعضی از کشورهای حاره‌ای دریافته‌اند گچ ($CaSO_4$ و$2H_2O$) می‌توانند سمیت آلومینیوم را در خاک تحت‌الارضی اصلاح کرده و درنتیجه عملکرد محصول را بالا می‌برد. گچ مصرف‌شده در سطح خاک به آسانی حل شده و به‌داخل تحت‌الارض آبشویی می‌شود. بعد از یک‌سال مصرف گچ، عملکرد مطلوب در گیاهان معمول مانند ذرت، لوبیا روغنی، یونجه، بقولات، گندم، سیب و پنبه حاصل گردید. انتشار ریشه‌ی محصولات در تحت‌الارض با مصرف گچ افزایش یافت (شکل ۲۹-۹) و محصولات کمتر به خشک‌سالی‌های بعدی حساس می‌شوند. گچ در رسوبات طبیعی به‌طور گسترده‌ای در دسترس است، اما یک فرآورده جانبی صنعتی است که در کارخانه‌های کودهای شیمیایی[1] تجزیه‌ی دقیق و تصفیه‌ی گوگرد از گازهای طبیعی به‌دست می‌آید.

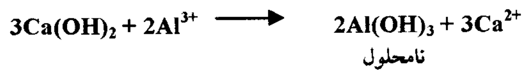
سازوکار اصلاح خاک تحت‌الارضی به‌وسیله‌ی گچ از یک خاک به خاک دیگر متفاوت است. هرچند گچ مصرف شده از نظر افزایش میزان کلسیم و کاهش میزان آلومینیوم در محلول خاک و همتافت تبادل شناخته شده می‌باشد. افزایش کلسیم مستقیماً از افزایش گچ ناشی

[1]- High – analysis fertilizers

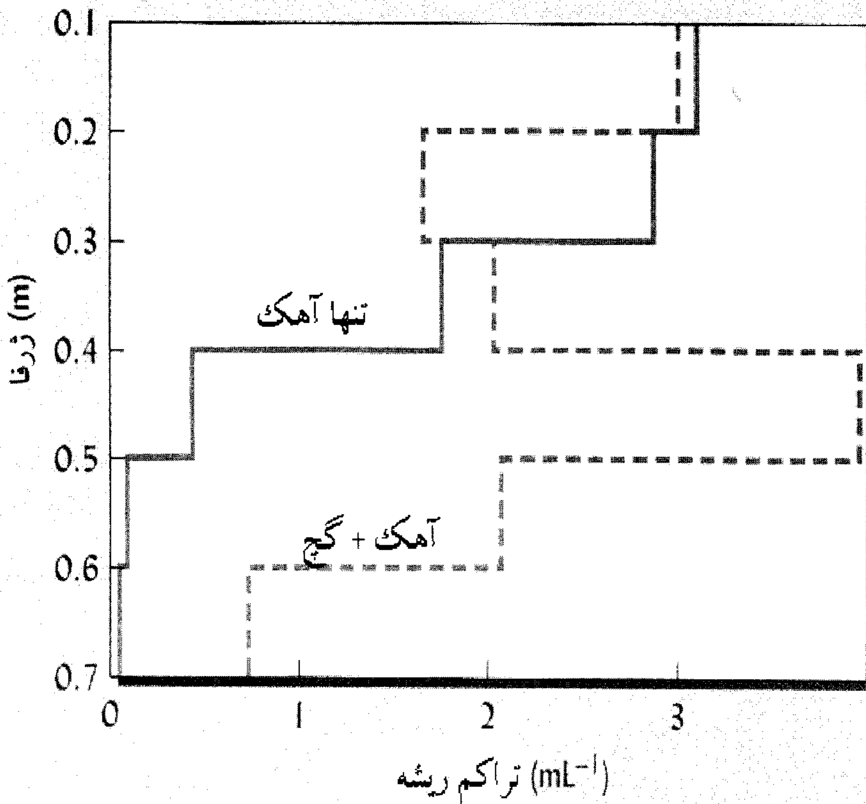
می‌شود. کاهش میزان آلومینیوم به‌نظر می‌رسد که با واکنشی که ین سولفات در آن وجود دارد تقویت مــی‌شــود. بــرای مثــال، یــن SO_4^{-2} می‌تواند ین OH^- را که با سزکی اکسیدهای Fe و Al همراه می‌باشد طی واکنش‌هایی مانند زیر جایگزین سازد:



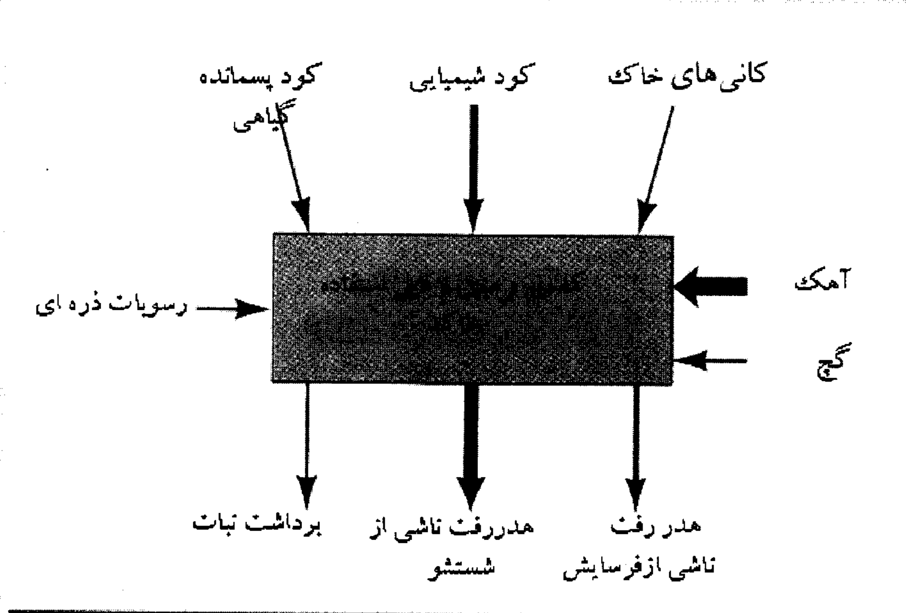
$Ca(OH)_2$ سپس می‌تواند با Al^{3+} در محلول خاک وارد واکنش شده تا $Al(OH)_3$ نامحلول را تشکیل دهد و بنابراین غلظت ین Al^{3+} را در ضمن افزایش غلظت Ca^{2+} کاهش دهد.



$$3Ca(OH)_2 + 2Al^{3+} \longrightarrow \underset{\text{نامحلول}}{2Al(OH)_3} + 3Ca^{2+}$$



شکل ۲۹-۹ گچ مصرف شده سطحی برای مرمت اسیدیته شدید خاک زیرین و افزایش ریشه نبات در یک خاک التی‌سول آفریقای جنوبی از خاکرخ به پایین حرکت کرده است. توسعه‌ی ریشه‌ها به خاک زیرین می‌تواند قابلیت استفاده از آب و عناصر غذایی را افزایش دهد.



شکل ۳۰-۹ راه‌های مهم که به‌وسیله‌ی آن‌ها کلسیم و منیزیم به خاک عرضه شده و از خاک برداشت می‌شوند. هدررفت‌های عمده ازطریق آبشویی و فرسایش است. این هدررفت‌ها عمدتاً به‌وسیله‌ی مصرف آهک و کودهای شیمیایی جایگزین می‌شود. اضافه‌شدن براثر مصرف کودها از آن‌چه عموماً تشخیص داده می‌شوند بالاتر است، زیرا بعضی از کودهای فسفاته شامل مقادیر زیادی کلسیم هستند. ذرات گردوخاک غنی ازکلسیم در مناطق خشک و درمناطق آلوده‌شده‌ی صنعتی نقش مهمی را در بوم‌سامان‌های غیرزراعی، که مواد اصلاح‌کننده مصرف نمی‌شود، ایفا می‌کند

۹-۱۵ نتیجه‌گیری نهایی

در تعیین محیط شیمیایی گیاهان عالی و میکروب‌ها، هیچ یک از خصوصیات شیمیایی خاک به تنهایی مهم‌تر ازpH نمی‌باشد. واکنش‌های محدودی در مورد اجزای خاک و یا موجودات زیستی آن وجود دارد که به pH خاک حساس نباشند. این حساسیت باید در هر نظام مدیریت خاک تشخیص داده شود.

pH خاک تا حد زیادی به‌وسیله‌ی ذرات ریز خاک و کاتیون‌های قابل‌تبادل همراه آن مهار می‌شود. آلومینیوم و هیدروژن سبب ارتقا اسیدیته‌ی خاک می‌شود، درحالی‌که کلسیم و سایر کاتیون‌های بازی (به‌خصوص سدیم) سبب ارتقا قلیاییت خاک می‌گردند. همتافت تبادل همچنین یک سازوکار بافری خاک است که در مقابل تغیرات شدید واکنش آن مقاومت نموده و سبب پایداری اکثر نظام‌های گیاه و خاک می‌شود

حفظ سطوح رضایت‌بخش حاصل‌خیزی خاک در مناطق مرطوب به‌مقدار قابل‌توجهی به مصرف بخردانه‌ی آهک برای حفظ تعادل هدررفت کلسیم و منیزیم از خاک وابسته است (شکل ۳۰=۹). آهک‌دادن نه‌تنها سبب حفظ مقادیر قابل‌تبادل کلسیم و منیزیم، بلکه ایجاد محیط فیزیکی و شیمیایی مناسب برای رشد اکثر گیاهان معمول می‌کند. آهک در واقع شالوده‌ای برای کشاورزی نوین در اکثر مناطق مرطوب است. دانستن چگونگی مهار pH و تاثیر آن در تأمین و قابلیت استفاده‌ی عناصر غذایی نباتات و همچنین عناصر سمی و نحوه‌ی تاثیر آن‌ها برای گیاهان عالی و انسان، و چگونگی مرمت خاک برای حفظ خاک و مدیریت پایدار آن‌ها در سرتاسر جهان اساسی می‌باشد.

سووالات برای مطالعه

۱- pH خاک میزان غلظت ین‌های H^+ را در محلول خاک معلوم می‌کند. درمورد غلظت ین‌های OH^- چه می‌گویید؟ شرح دهید.

۲- نقش آلومینیوم و ین‌های همراه آن را در ارتقا اسیدیته‌ی خاک تشریح کنید. گونه‌های دخیل در این کار و اثر آن‌ها را در CEC خاک تشریح کنید.

۳- اگر شما بتوانید به نحوی عصاره محلول خاک ۱۶ سانتی‌متر فوقانی یک هکتار خاک اسیدی (pH =۵) را استخراج کنید، فقط چند کیلوگرم آهک برای خنثی‌کردن محلول خاک لازم دارید. در شرایط صحرایی، تا حدود ۶ تن آهک لازمست تا pH را به ۶/۵ برساند. این اختلاف را چگونه توجیه می‌کنید؟

۴- منظور از بافری‌بودن چیست؟ چرا در خاک‌ها این‌قدر مهم می‌باشد و سازوکار بافری‌شدن چیست؟

۵- باران اسیدی چیست و چرا احتمالا اثرات مهم‌تری بر جنگل‌ها درمقایسه با کشاورزی تجاری دارد؟

۶- اهمیت pH خاک را در قابلیت استفاده و سمیت اختصاصی عناصر، و هم‌چنین ترکیب گونه‌های پوشش طبیعی یک منطقه را تشریح کنید

۷- چه مقدار آهک با $CaCO_3$ معادل ۹۰ شما لازم است مصرف کنید تا درصد اشباع بازی یک خاک لوم سیلتی با CEC ۲۰ سانتی‌مول بار در کیلوگرم را از ۶۰٪ به ۹۰٪ برسانید؟

۸- زه‌کشی و کشت‌وکار در بعضی از اراضی مرطوب ساحلی سبب ایجاد اسیدیته‌ی شدید (pH = ۴) گردیده است. توضیح دهید که چرا این تغیر pH صورت گرفته و راه‌حل‌های مدیریتی مناسب را پیشنهاد کنید.

۹- یک همسایه شکایت کرده که گل‌های آزالیا براثر مصرف آهک زیاد به چمن اطراف آن‌ها به‌طور منفی تحت تاثیر قرار گرفته‌اند. این مشکل را مربوط به چه می‌دانید و چگونه آن‌را جبران خواهید کرد؟

۱۰- اثرات زیان‌بار اسیدیته در خاک زیرین با اضافه‌کردن گچ $CaSO_4 , 2H_2O$ به خاک سطحی مرمت می‌شود. چه سازوکاری را مربوط به این اثر گچ می‌دانید؟

قلیا در روی آن‌ها چنان تجمع یافته است کـه بـه‌صـورت باتلاق و مرداب و کفه‌های قلیـایی در آمـده‌انـد و اراضـی حاصل‌خیز سابق همانند اراضی متروکه و بایر رها شده‌اند.
میلتون ویتنی اولین رییس بخـش خـاک وزارت کشـاورزی آمریکا(۱۸۹۸)

فصل دهم

خاک‌های قلیایی و مبتلا به شوری و مدیریت آن‌ها

خاک‌های قلیایی و مبتلا به شوری عمدتاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک در بیشتر از نصف اراضی قابل‌کشت جهـان یافـت مـی‌شـوند. اراضی وسیعی از آن‌ها به مراتع و زراعت دیم اختصاص یافته و بخش قابل‌توجهی نیز برای زراعت آبی مورد استفاده می‌باشد. آب آبیـاری چه از مخازن سطحی و چه از پمپاژ آب‌خوان‌ها می‌تواند این مناطق خشک را به پرمحصول‌ترین مزارع دنیـا تبـدیل کنـد. در آمریکـا ۱۵٪ اراضی تحت آبیاری ۴۰ درصد ارزش کل محصولات را تولید می‌کنند.

بیشتر اراضی شور و قلیا، هرچند برای کشاورزی مورد استفاده قرار نمی‌گیرند، پوشش بومی آن‌هـا دارای تنـوع گسـترده‌ای از نباتـات می‌باشد که همراه با حیوانات بومی خود در تنوع زیستی نقش عمده‌ای دارند.

خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک اکثراً قلیایی می‌باشند. زیرا بارندگی و یا ریزش برف برای آبشـویی کـاتیون‌هـای بـازی (Ca^{2+}، Mg^{2+}، K^+، Na^+ و غیره) که با هوادیدگی سنگ‌ها و کانی‌ها با تأنی آزاد می‌شوند، بسنده نیست. درنتیجه درصد اشباع بـازی بـالا بـوده و pH بالاتر از ۷ غالب می‌باشد. در بعضی مناطق با زه‌کشی داخلی ضعیف حتی از آبشویی نمک‌های محلول مانند NaCl، $CaCl_2$، $MgCl_2$ و KCl نیز ممانعت گردیده و منجر به ایجاد شرایط شوری و همچنین قلیاییت شده است.

درمقیاس جهانی حدود یک‌سوم اراضی تحت آبیاری دارای مسایل شوری هستند. آب آبیاری نمک ها را از حوضه های بالادست به اراضی کشاورزی انتقال می‌دهد. اگر نظام‌های آبیاری زه‌کشی داخلی مناسبی فراهم نکنند، نمک‌ها به‌خصوص آن‌هایی که دارای سـدیم مـی‌باشـند، می‌توانند چنان تجمع یابند که سبب بروز مسایل فیزیکی و شیمیایی گردیده و خاک را عملاً برای زیستگاه نبات غیرقابل‌استفاده سازند.

خاک‌های شور و قلیا نقش بارزی در تاریخ جهان داشته‌اند، زیرا عروج و افول چندین تمدن باسـتانی در ارتبـاط بـا مـدیریت آبیـاری اراضی و سوءمدیریت بعدی آن‌ها بوده است. با بررسی بعضی از اشتباهاتی که منجر به سقوط این تمدن‌ها شده است امید این است که مـا فرا گیریم چگونه از این اشتباهات در آینده دوری جوییم.

۱۰-۱ منابع قلیاییت

در فصل ۹ آموختیم که جایگزینی Al^{3+} و H^+ از همتافت تبادل و محلول خاک به‌وسیله‌ی کاتیون‌های بـازی (مـثلاً Ca^{2+}، Mg^{2+} و Na^+) سبب تقویت قلیاییت می‌شود. در خاک‌های مناطق کم‌باران آنیون‌های کربنات و بی‌کربنـات سـبب تقویـت تمایـل بـه قلیـایی‌شـدن می‌گردند.

نقش کربنات‌ها و بی‌کربنات‌ها

منبع اولیه کربنات‌ها در خاک‌ها اسید کربنیک (H_2CO_3) است که از واکنش CO_2 حاصل از فعالیت میکروبی و تـنفس ریشـه بـا آب حاصل می‌شود.



$$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^-$$

به‌خاطر این واکنش محلول خاک، که در تعادل با CO_2 نیوار خاک می‌باشد دارای pH حدود ۴/۶ اسـت. در خـاک‌هـا بـا pH بـالاتر، یون‌های فراوان OH^- با H_2CO_3 وارد واکنش شده اول بی‌کربنات (HCO_3^-) و سپس یون کربنات (CO_3^{-2}) تولید می‌کند.



$$H_2CO_3 + OH^- \rightleftharpoons HCO_3^- + H_2O \qquad HCO_3^- + OH \rightleftharpoons CO_3^{-2} + H_2O$$

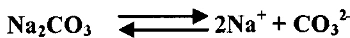
یک محلول خاک دارای یون بی‌کربنات در تعادل با CO_2 نیوار دارای pH حدود ۸/۳ می‌باشد، درصـورتی‌کـه در محلـول‌هـایی دارای کربنات‌های محلول، می‌باشند pH به ۱۰، و یا بیشتر می‌رسد.

توجه کنید اگر غلظت ین‌های HCO_3^- و یا CO_3^{2-} افزایش یابد واکنش‌های فوق‌الذکر به سمت چپ برگشته و ین OH^- بیشتری تولید شده و pH افزایش می‌یابد، این مطلب به‌وسیله‌ی شکل ۱-۱۰ تأیید شده است. در این شکل رابطه بین غلظت ین‌های HCO_3^-، CO_3^{2-} با H^+ و OH نشان داده شده است. توجه کنید که افزایش ین‌های HCO_3^- و یا CO_3^{2-} سبب افزایش ین‌های OH^- و کاهش ین‌های H^+ می‌شود. لگاریتم منفی فعالیت ین H^+ (و یا pH) با وقوع واکنش‌های فوق از ٤ به حدود ۱۰ می‌رسد. با توجه به این شکل ما می‌توانیم تأثیر کربنات‌ها و بی‌کربنات‌ها را بر روی pH خاک در خاک‌های قلیایی مشاهده کنیم. ما همچنین می‌توانیم چگونگی تأثیر بافری این دو آنیون را بر روی pH خاک مشاهده کنیم.

نقش کاتیون‌ها (Na^+ درمقایسه با Ca^{2+})

کاتیون خاصی که در ارتباط با ین‌های کربنات است در میزان pH مؤثر می‌باشد. برای نمونه، اگر ین‌های Na^+ جذب شده در همتافت و در محلول زیاد باشد و اگر مقادیر زیادی HCO_3^- و یا CO_3^{2-} وجود داشته باشند $NaHCO_3$ و Na_2CO_3 تشکیل می‌شوند. هر دو این نمک‌ها محلول در آب بوده و به‌شدت قابل‌یونیزه‌شدن هستند که به‌طور مداوم سبب تضمین مقدار بالای ین‌های HCO_3^- و CO_3^{2-} می‌باشند.



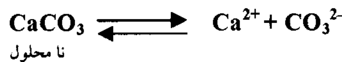


غلظت بالای ین‌های کربنات می‌تواند منجر به pHهای زیاد به‌میزان ۱۰ یا بیشتر (شکل ۱-۱۰) گردیده و خاک را برای اکثر نباتات تقریباً غیرقابل‌زیست کند.

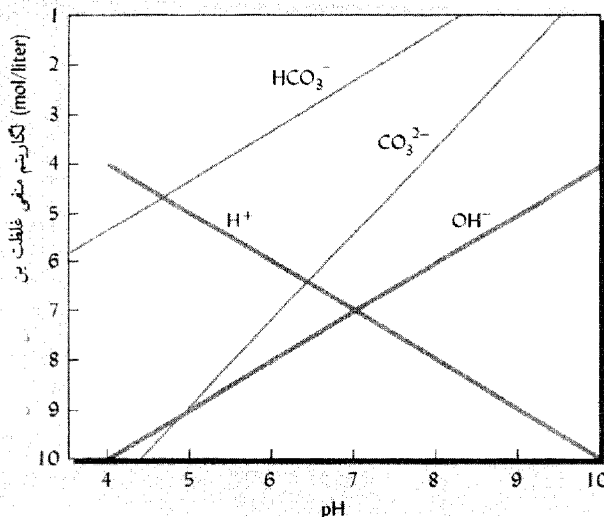
خوشبختانه Ca^{2+} کاتیون غالب در اکثر خاک‌های قلیایی است. این کاتیون با اسید کربنیک واکنش انجام داده و تشکیل $Ca(HCO_3)_2$ و $CaCO_3$ می‌دهد. ین $Ca(HCO_3)_2$ در آب کاملاً محلول بوده و همانند $NaHCO_3$ یونیزه می‌شود.



میزان HCO_3^- بالا باقی مانده و سبب تضمین غلظت ین OH^- و میزان pH بالا می‌شود. برعکس $CaCO_3$ در آب خیلی محلول نبوده و به‌طور عمده برای تولید ین‌های CO_3^{2-} زیاد یونیزه نمی‌شود.



توجه کنید که نقطه‌ی تعادل برای این واکنش مطمئناً به سمت چپ بوده و تضمین می‌کند که غلظت CO_3^{2-} خیلی کم می‌شود، درنتیجه $CaCO_3$ سبب ایجاد pH بالاتر از آن‌چه که به‌وسیله‌ی $Ca(HCO_3)_2$ به‌دست می‌آید نمی‌گردد. این جای خوشبختی است، زیرا انواع زیادی از خاک‌های قلیایی دارای مقادیر قابل‌توجهی $CaCO_3$ غیرمحلول قابل‌ته‌نشین‌شدن هنگام تشکیل خاک می‌باشند. pH افق‌های دارای $CaCO_3$ (آهکی) معمولاً بیشتر از ۷/۵ تا ۸ نمی‌باشد، و این میزانی است که به‌وسیله‌ی بسیاری از گونه‌های نباتی قابل‌تحمل است.



شکل ۱-۱۰ اثر کربنات‌ها (HCO_3^- و CO_3^{2-}) بر غلظت ین‌های H^+ و OH که بر حسب لگاریتم منفی نشان داده شده است (خط +H بیانگر افزایش pH یا لگاریتم منفی ین‌های H^- ($-logH^+$) از حدود ٤ تا ۱۰ می‌باشد). این نمودار نشان می‌دهد که میزان ین‌های HCO_3^- و CO_3^{2-} درمحلول خاک نقش عمده‌ای در تعیین pH خاک دارند.

تأثیر نمک‌ها

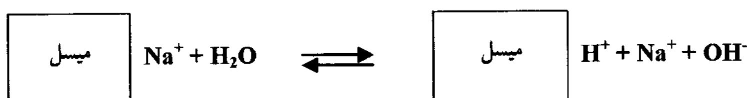
نمک‌های خنثی مانند $NaCl$, KCl , $CaCl_2$, $MgCl_2$ می‌توانند اثر کاتیون‌های جذب شده و کربنات‌ها را بر pH بعضی از خاک‌های قلیایی تعدیل کنند. برای مثال مقادیر بالای $NaCl$ یونیزاسیون $NaHCO_3$ را محدود می‌کنند.



$$NaHCO_3 \rightleftharpoons Na^+ + HCO_3^-$$

غلظت بالای یون Na^+ که از$NaCl$ می‌آید واکنش را به‌سمت چپ می‌کشاند. حاصل غلظت کم HCO_3^- و پایین بردن غلظت یـن OH^- همراه آن و مقدار pH خاک است.

همچنین نمک‌های محلول در غلظت ین OH^-، که از جذب بالای Na^+ در همتافت کلوییدی حاصل می‌شود تأثیر می‌گذارند.



$$\boxed{\text{میسل}}\ Na^+ + H_2O \rightleftharpoons \boxed{\text{میسل}}\ H^+ + Na^+ + OH^-$$

این واکنش نیز به‌طور مشابه در حضور نمک‌های محلول مانند $NaCl$ و یا Na_2SO_4 به سمت چپ رانده می‌شود. پیامـد ایـن واکـنش کاهش غلظت یـن‌های OH^-، و پایین‌آوردن pH است. نمک‌های محلول سبب حفظ شرایط فیزیکی خوب حتی هنگامی‌که میزان غلظت Na^+ بالا است می‌گردند، خاک‌های مبتلا به شوری را بعد از یک بررسی اجمالی درِ خصوصیات خاک‌های قلیایی، که دارای مقدار کمـی نمـک می‌باشند مورد ملاحظه قرار خواهیم داد.

۱۰-۲ خاک‌های قلیایی غیرشور مناطق خشک

علاوه بر میزان پایین یـن‌های H^+ و میزان بالایی یـن‌های OH^- شماری از این ویژگی‌ها مورد تأکید مجدد قرار می‌گیرند.

کمبود عناصر غذایی

عناصر غذایی مانند آهن، منگنز و روی، که آزادانه در خاک‌های اسیدی قابل‌استفاده‌اند (بعضی مواقع در حـد سـمیت)، در بسـیاری از خاک‌های قلیایی به‌ندرت قابل‌استفاده بوده و یا حتی سبب کمبود این عناصر در گیاهان می‌شود. متاسفانه استعمال کودهـای شـیمیایی و یـا پس‌مانده‌های گیاهی حاوی این عناصر کم‌مصرف بعضی مواقع بی‌تأثیر است، زیرا این عناصر در خاک‌های دارای pH بـالا بـه‌سـرعت بـه اشکال غیرقابل‌حلّ در می‌آیند. ترکیبات همتافت آلی محافظت‌کننده خاص بنام کیلات می‌توانند در تأمین نیازهای غذایی گیاهان کشت شده در این خاک‌ها مؤثر باشند. (بخش ٦-١٥را مشاهده کنید). همچنین در تولید گیاهان پرارزش برای جلوگیری از تعامل عناصر کـم‌مصـرف و خاک‌های دارای pH بالا، عناصر کم‌مصرف معمولاً به‌طور مستقیم بر روی سطح برگ پاشیده می‌شود.

در خاک‌های قلیایی فسفر بومی و فسفر داده‌شده هر دو به‌صورت فسفات کلسیم و منیزیم بسیار نـامحلول در مـی‌آینـد و فسـفر فقـط به‌مقدار بسیار جزیی برای جذب نبات قابل‌استفاده می‌باشد. به‌همین‌ترتیب قابلیت استفاده بُر در سطوح بالای pH کاهش می‌یابـد، زیـرا در بالاتر از۷ بر به‌شدت به‌وسیله‌ی کلوییدهای خاک جذب می‌شود. برعکس قابلیـت اسـتفاده مولیبـدن در دامنـه pH قلیـایی افـزایش یافتـه به‌طوری‌که سمیت موضعی مولیبدن در بعضی مناطق برای گیاهان و احشام چراکننده مسأله می‌باشد. تعامل عنصر به عنصر عناصر غذایی در خاک‌های قلیایی باید در مدیریت خاک‌ها به‌دقت مورد ملاحظه قرار گیرد.

کمبود عناصر کم‌مصرف در خاک‌های قلیایی به‌خصوص برای مشتاقان طراحی محوطه منازل و باغبانی مشکل‌ساز است (شـکل ۲-۱۰). متأسفانه بعضی از گیاهان زینتی خیلی مشهور با خاک‌های قلیایی، به‌خصوص خاک‌های آهکی دارای کربنات کلسیم در لایـه‌هـای فوقـانی خوب تطابق نیافته‌اند. باغبانان یا باید ارقام سازگار گیاهان بومی را که به قلیاییت مقاوم می‌باشد انتخاب کنند، و یا باید مـواد تولیـدکننـده اسید مانند گوگرد را برای تغییرpH این خاک‌ها و ایجاد محیط سازگار برای نبات به خاک اضافه کنند.

ظرفیت تبادل کاتیونی

ظرفیت تبادل کاتیونی(CEC) خاک‌های قلیایی معمولاً بالاتر از خاک‌های اسیدی با بافت مشابه است. این درنتیجه‌ی دو عامل اصـلی است: (۱)CEC بالا همراه با بار ثابت در رس‌های نوع ۲:۱ است که در خاک‌های قلیایی بسیار معمولنـد، و (۲) CEC بـه مراتـب بـالاتر درنتیجه‌ی بارهای وابسته به pH است، که در کلوییدهای هموسی در این pH بالا وجود دارد.



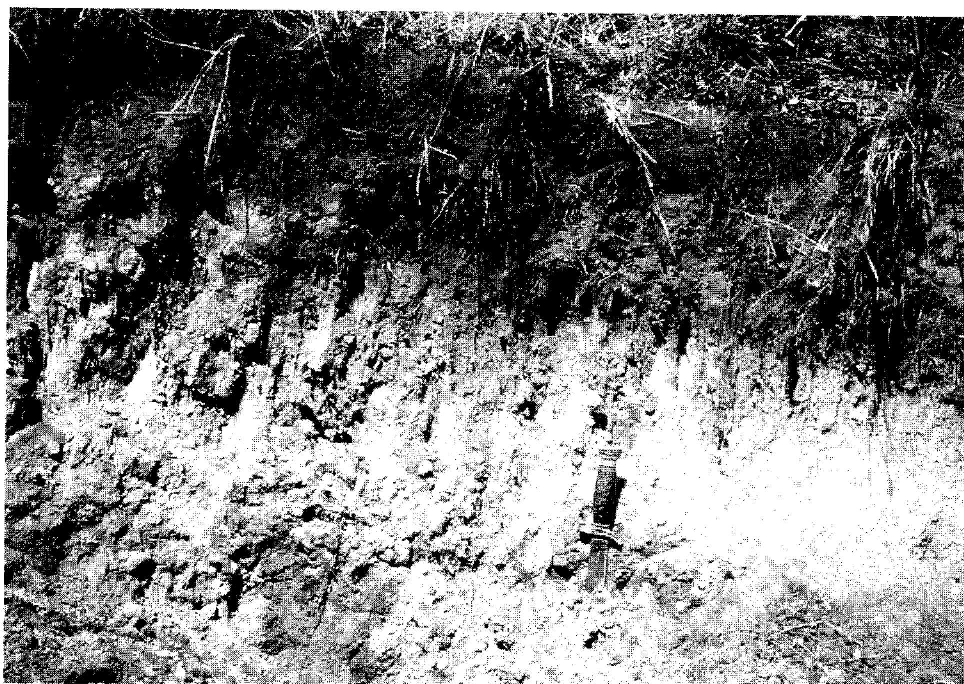


شکل ۲- ۱۰ بلوط زینتی (بالا با شاخه‌های درحال مرگ در جلو عکس) که در خاک‌ها با اسیدیته‌ی متوسط در مناطق مرطوب به‌خوبی رشد می‌کند در خاک‌های آهکی در کلرادو رشد اندکی دارد. کمبود عناصر غذایی (احتمالاً آهن) با رنگ سبز روشن در بین رگبرگ‌ها (پایین عکس) مشخص گردیده است. آزمایش خاک تأیید نموده است که خاک قلیایی است. باغبانان یا باید ارقامی را انتخاب کنند که از نظر مقاومت به قلیایی‌بودن خاک شناخته شده‌اند، و یا خاک را اسیدی کرده و یا عناصر کم‌مصرف را که گیاهان حساس به شرایط قلیایی به آن نیاز دارند، فراهم کنند.

لایه‌های آهکی

خصوصیت معمول دیگر بسیاری از خاک‌های خوب تکامل یافته مناطق دارای بارندگی پایین تجمع کربنات کلسیم در عمق خاکرخ (شکل۳-۱۰ و تابلو رنگی ۱۳) می‌باشد. این افق‌ها، افق‌های آهکی[1] نامیده می‌شود. تجمع بالای کربنات کلسیم در این افق‌ها، مانع رشد بهینه ریشه در بعضی گیاهان خواهد شد. وقتی تجمع آهک در نزدیک سطح خاک که معمولاً در مناطق کم باران شایع است حاصل شود، کمبود شدید عناصر کم‌مصرف می‌تواند برای نباتاتی که با این شرایط سازگاری نیافته‌اند صورت گیرد (تابلو ۲۹). راسته‌ها و زیرراسته‌های اصلی خاک در مناطق کم‌باران در بخش ۱۰-۳ تا ۱۳-۳ تشریح شده است.

[1] -Calcareous horizons



شکل ۳-۱۰ تراکم کربنات کلسیم در بخش پایین افق B (B_K) و بخش فوقانی افق C (C_K)(چاقو در مرز دو افق خاک فرو رفته است) مشخص‌کننده این خاک استول[1] و بسیاری از خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک میباشد. لایه آهکی سبب بالابودن pH گردیده و قابلیت استفاده عناصر کم‌مصرف مانند آهن، منگنز و روی را محدود می‌کند.

تأمین آب خاک

برخلاف خاک‌های مناطق مرطوب، لایه‌های زیرین خاک‌های قلیایی مناطق دارای بارندگی اندک معمولاً خشک است مگر این‌که سطح آب زیرزمینی بالا باشد. رطوبت محدود در لایه‌های فوقانی و رقابت برای آب در میان نباتات عوامل اصلی در تعیین سرشت و توان تولید پوشش گیاهی بومی، و همین‌طور ظرفیت اراضی برای نگهداری احشام می‌باشد(بخش ۱۳-۲ را مشاهده کنید).

مدیریت آب در کشت‌وکار مناطق خشک و نیمه‌خشک باید دارای بالاترین اولویت باشد. عملیات خاک‌ورزی که سبب نفوذ آب به‌داخل خاک در هنگام نزول بارندگی‌ها و برف می‌شود باید انتخاب گردند (شکل ۷-۶ را مشاهده کنید). به‌همین‌ترتیب، اغلب عاقلانه‌تر این است که از عملیات خاک‌ورزی مانند خاک‌پوش کلشی (بخش ۶- ۶ را مشاهده کنید)، که با باقی‌گذاشتن مقداری پوشش در سطح خاک از تلفات آب ناشی از تبخیر و فرسایش ممانعت می‌کند، استفاده گردد.

روابط رطوبتی در خاک‌های تحت آبیاری در مناطق خشک در طول دوره‌ی رشد نبات چندان با مناطق مرطوب تفاوت ندارد. هرچند هدررفت رطوبت براثر تبخیر در مناطق خشک خیلی بالا بوده و باید تجمع نمک در خاک‌های تحت آبیاری برای تولید موفق محصول مورد نظارت قرار گیرد. ویژگی‌ها و مدیریت خاک‌های شور در بخش‌های زیر مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

۳-۱۰ تکامل خاک‌های مبتلا به شوری

خاک‌های شور به‌طور وسیعی در تمام جهان توزیع یافته‌اند (جدول۱-۱۰)، گسترده‌ترین سطح آن‌ها در استرالیا، افریقا، امریکای لاتین و خاور نزدیک و خاورمیانه قرار دارند. اغلب در مناطقی که نسبت بارندگی به تبخیر ۰/۷۵ و یا کمتر از آن بوده و در اراضی مسطح با سطح ایستابی بالا که ممکن است در معرض نشت از ارتفاعات باشند یافت می‌شوند. شکل ٤-۱۰ توزیع این خاک‌ها را در قاره‌ی آمریکا نشان می‌دهد. حدود ۵۰ میلیون هکتار از اراضی زراعی و مرتعی در حال حاضر تحت تأثیر شوری بوده و در بعضی مناطق اراضی چنان تحت تأثیر قرار گرفته‌اند که سالانه ۱۰ درصد به سطح آن‌ها افزوده می‌شود.

[1]- Ustoll

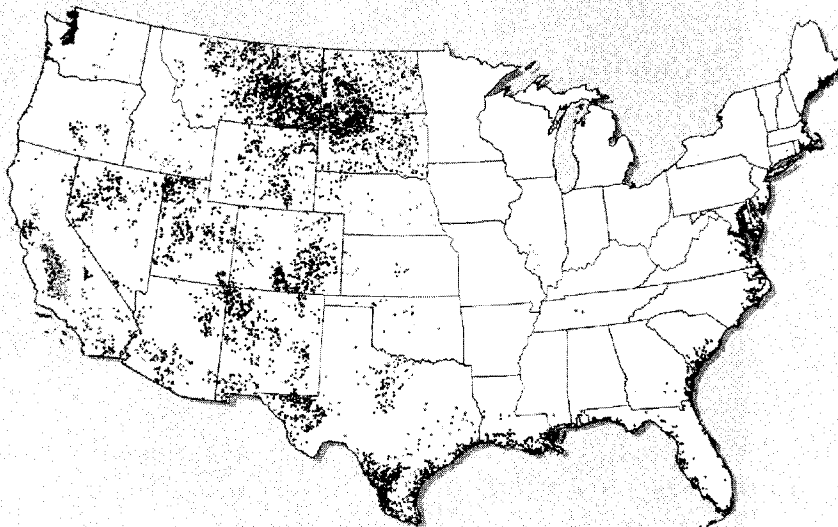
تراکم طبیعی نمک

نمک به‌طور طبیعی در بعضی از خاک‌های سطحی مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌دلیل نبود بارندگی کافی برای آبشویی آن‌ها از افق‌های بالایی تجمع می‌یابد. در ایالات متحده، حدود یک‌سوم خاک‌ها در این مناطق با درجات متفاوت شوری مواجهند. نمک‌ها معمولاً، کلروها و سولفات‌های کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم می‌باشند. آن‌ها ممکن است در هنگام هوادیدگی سنگ‌ها و کانی‌ها تشکیل گردند، و یا از طریق بارندگی و آبیاری وارد خاک شوند.

سایر منابع موضعی امّا مهّم عبارتند از رسوبات فسیلی نمک‌های به‌جا گذاشته در کف دریاچه‌ها و یا دریاهای قدیمی از بین رفته، و یا منابع زیرزمینی آب شور طی دوران‌های زمین‌شناسی این نمک‌های فسیلی می‌توانند در آب زیرزمینی حل شده و به‌طور افقی در روی لایه‌های غیرقابل‌نفوذ زیرین حرکت کرده و نهایتاً به سطح خاک اراضی پست بالا آمده و نشت‌های[1] شور را به‌وجود آورند. آب سپس تبخیر شده و نمک‌ها را در جای خود و یا در نزدیکی سطح خاک به‌جای می‌گذارد.

شکل ۵- ۱۰ نشان می‌دهد که چگونه نمک‌ها می‌توانند در ارتفاعات پایین از نمک‌های حاصل از خاک‌های طبیعی و یا رسوبات فسیلی اراضی بالادست تجمع یابند. متأسفانه بسیاری از نباتات نمی‌توانند مقادیر بالای این نمک‌ها را تحمل کنند، و این واقعیت دلیل محدودیت شدید استفاده از بعضی از خاک‌های شور می‌باشد.

ین‌های Ca^{2+} و Mg^{2+} در همتافت تبادل اکثر خاک‌های شور غالب می‌باشند، و در بعضی از خاک‌ها با بیشتر از ۱۵ درصد اشباع سدیم ممکن است pH خاک به بالاتر از ۸/۵ برسد و پایداری خاکدانه‌ها تخریب گردد، کلوییدهای خاک پراکنده شده و سبب بسته‌شدن منافذ زه‌کشی شود. این خاک‌ها، خاک‌های سدیم‌دار (بخش ۵-۱۰) نامیده شده که فاقد توان تولید بوده و مدیریت آن‌ها مشکل است.



شکل ٤-۱۰ نمایی از مزرعه نشان‌دهنده‌ی شرایطی است که سبب تجمع نمک در خاک می‌شود. آب‌های دارای کانی‌های حاصل از رسوبات فسیلی و یا نمک حاصل از هوادیدگی خاک در مناطق مرتفع به پایین شیب، به‌طرف اراضی پست پایین از طریق رواناب حاصل از بارندگی‌های شدید و یا آب زیرزمینی موجود بر روی تشکیلات غیرقابل‌نفوذ زمین‌شناسی حرکت می‌کند. وقتی آب در اراضی پست تبخیر می‌شود با خود نمک‌ها را به نزدیکی سطح خاک آورده و در آن‌جا نمک‌ها تجمع پیدا می‌کنند.

شوری و قلیاییت حاصل از آبیاری

درحالی‌که در اکثر اراضی شور نمک‌ها به‌طور طبیعی تجمع یافته‌اند، شوری حاصل از آب آبیاری مشابه آن‌چه قرن‌ها قبل سبب فلاکت تمدن‌های قدیمی گردید، در سال‌های اخیر بسیار اهمّیت پیدا کرده است. آب‌های آبیاری حاصل از حوزه‌های آب‌خیز و یا پمپاژ از سطوح ایستابی مقدار قابل‌توجهی از املاح محلول را با خود حمل می‌کند. در مناطقی که زمین دارای زه‌کشی مناسب بوده و آب آبیاری کافی برای آبشویی نمک‌های محلول از لایه‌های فوقانی خاک و عبور آن به لایه‌های عمقی وجود داشته باشد، از تراکم اضافی نمک ممانعت می‌کند.

---

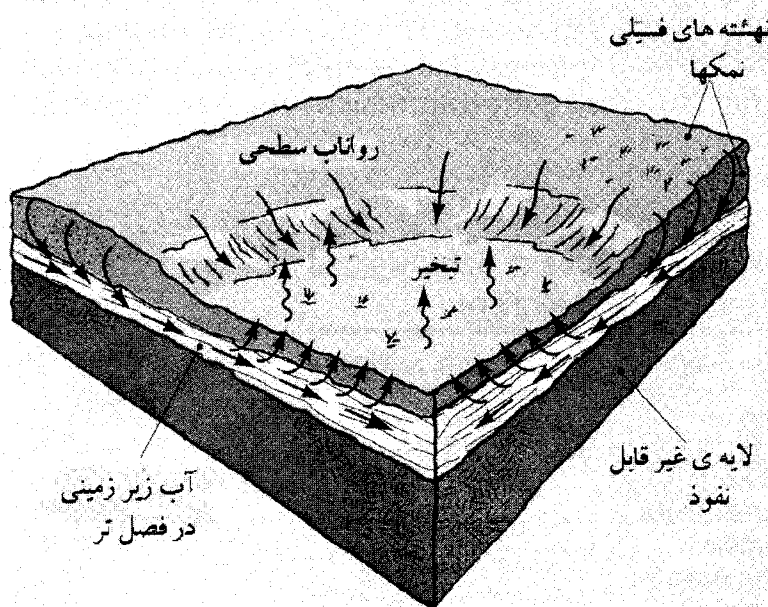
[1] -Saline seeps

اگرخاک دارای زه‌کشی ضعیف باشد، حرکت رو به پایین آب به سطوح ایستابی با مشکل مواجه بوده، نمک‌ها در خاک باقی مانده و با تبخیر آب آبیاری به سطح آمده و یک خاک شور را ایجاد خواهد کرد.

اگر آب آبیاری حاوی مقادیر قابل‌توجهی از یون‌های Na^+ در مقایسه با Ca^{2+} و Mg^{2+} بوده و به‌خصوص اگر یون‌های HCO_3^- وجود داشته باشند همتافت کلوییدی می‌تواند عمدتاً از یون Na^+ اشباع گردد و بدین‌صورت خاک‌های سدیمی فاقد توان تولید حاصل شود.

جدول ۱-۱۰ مساحت اراضی شور در مناطق مختلف جهان

منطقه	آفریقا	خاور نزدیک ودور	آسیا و خاور دور	امریکای لاتین	استرالیا	امریکای شمالی	اروپا	جهان
مساحت (میلیون هکتار)	۶۹/۵	۵۳/۱	۱۹/۵	۵۹/٤	۸٤/۷	۱٦	۲۰/۷	۳۲۲/۹



شکل ۵-۱۰ توزیع خاک‌های مبتلا به شوری در قاره‌ی آمریکا در سال ۱۹۹۲. اراضی کوچک در کنار خطوط ساحلی اقیانوسی یافت می‌شوند امّا به اراضی بزرگ‌تر در مناطق وسیع غرب توجه کنید. هر نقطه معرف حدود ۴۰۵۰ هکتار است.

در طول سه دهه‌ی قبل، کشورهای کم‌درآمد در مناطق خشک جهان سطح اراضی آبی خود را برای تولید نیازهای غذایی جمعیت انسانی سریع‌الرشد خود به‌مقدار زیادی توسعه داده‌اند. درنتیجه، نسبت اراضی تحت آبیاری به‌طور شدیدی افزایش یافته است. این نسبت در چین به ٤۵٪، در هندوستان به ۲۵٪، در پاکستان به ۷۲٪، و در اندونزی به ۲۸٪ رسیده است. افزایش چشم‌گیر اوّلیه در تولید محصولات گیاهی گرچه با گسترش آبیاری میسّر شده است، اما در بعضی از مناطق تحت طرح‌های آبیاری احتیاج به زه‌کشی مناسب مورد چشم‌پوشی قرار گرفته و فرایند شورشدن تشدید یافته است. درنتیجه، نمک‌ها به حدی تمرکز یافته‌اند که سبب تأثیر منفی در تولید محصولات غذایی گردیده و در بعضی مناطق خاک‌های سدیمی فاقد توان تولید ایجاد شده‌اند.

این حوادث اراضی مسطح بایر در جنوب شرق عراق را که از قرن ۱۲ میلادی لم‌یزرع باقی مانده‌اند به‌خاطر جهانیان می‌آورد. در عهد باستان اراضی این مناطق حاصل‌خیز و دارای توان تولید بالا بود. آب حاصل از رودخانه‌های دجله و فرات در افزایش توان تولید چنان نقش داشتند که کل منطقه به هلال حاصل‌خیز مشهور بودند. متأسفانه، در اراضی وسیعی خاک‌ها دارای زه‌کشی مناسب نبودند و فرایند شورشدن افزایش یافت نمک‌ها چنان تجمع پیدا کردند که تولید محصولات گیاهی کاهش یافت و اراضی اجباراً ترک گردیدند. حتی امروزه همان فرایند در مناطق مختلف در سرتاسر جهان تکرار شده و بعضی مناطق تحت کشت آبی باید ترک گردند (برای مثال شکل ۱۲-۱۹ را مشاهده کنید). توجه جدی جهان به خاک‌های شور به درستی قابل‌توجیه است.

٤-۱۰ اندازه‌گیری شوری و قلیاییت

نباتات به‌طور زیان‌باری در بعضی خاک‌ها تحت تأثیر زیادی نمک، و در خاک‌های دیگر تحت تأثیر مقادیر زیاد سدیم قابل‌تبادل قرار می‌گیرند. فرایند دوم برای هر دو خصوصیت فیزیکی و شیمیایی پرضرر بوده است. روش‌های فنی برای اندازه‌گیری سه خصوصیت اصلی باضافه pH ابداع شده است که می‌تواند برای مشخص‌کردن خاک‌های مبتلا به شوری مورد استفاده قرار گیرند. آن‌ها عبارتند از :

۱) شوری خاک ۲) درصد سدیم قابل‌تعویض (ESP)[1] ۳) نسبت جذب سدیمی (SAR)[2] که هرکدام به‌طور مختصر مورد تشریح قرارخواهندگرفت

شوری خاک[3]

آب خالص هادی ضعیفی برای الکتریسیته می‌باشد، امّا با حل‌شدن نمک در آن هدایت افزایش می‌یابد. بنابراین، هدایت الکتریسیته‌ی[4] (EC) محلول خاک به‌طور غیرمستقیم میزان نمک خاک را مشخص می‌سازد. EC هم به‌وسیله‌ی روش‌های صحرایی و هم آزمایشگاهی تعیین شده (جدول ۲-۱۰) و بر حسب دسی‌زیمنز در متر (d S /m) بیان می‌گردد. (واحد سابق بر حسب میلی‌موز در سانتی‌متر **mmoh/cm** بیان می‌شد، از آنجاکه هر سیمنز معادل یک موز است پس هر دسی‌زیمنز در متر معادل یک میلی‌موز در سانتی‌متر است).

روش عصاره‌ی گل اشباع[5] معمول‌ترین روش آزمایشگاهی به‌کار برده شده می‌باشد. نمونه خاک با آب مقطر برای ایجاد گل چسبناک، اشباع شده و گل به‌مدت یک شبانه‌روز برای حل‌شدن نمک‌ها به حال خود باقی مانده، و هدایت الکتریکی عصاره خارج شده از گل (EC_e) اندازه‌گیری می‌شود. نوعی دیگر این روش شامل تعیین هدایت الکتریکی محلول عصاره‌گیری شده از مخلوط ۱:۲ خاک و آب بعد از نیم ساعت تکان دادن[6] آن است (EC_W). روش دوم وقت کمتری گرفته اما اغلب از روش عصاره‌ی اشباعی خاک دارای دقت کمتری می‌باشد.

روش‌های صحرایی که امروزه به‌کار می‌روند شامل اندازه‌گیری هدایت الکتریکی کالبد خاک می‌باشند، که با شوری خاک ارتباط مستقیم دارد (شکل ۲-۱۰ را مشاهده کنید). در یکی ازاین روش‌ها ٤ الکترود حساس داخل خاک فرو برده می‌شود (شکل٦-۱۰) و اندازه‌گیری مستقیم هدایت الکتریکی در صحرا (EC_a) انجام می‌شود. این دستگاه می‌تواند در پشت یک تراکتور نصب شده و به‌سرعت از یک نقطه به نقطه دیگر انتقال یابد. این روش سریع، ساده و عملی بوده و ارقامی ارائه می‌دهد که می‌توان همبستگی آن‌را با EC_e به‌دست آورد.

جدول ۲-۱۰ برآورد شوری خاک با استفاده از ٤ روش مختلف، هر روش وابسته به هدایت الکتریکی(EC) محلول خاک می‌باشد

علائم	شرایط اندازه‌گیری
	آزمایشگاهی
EC_e	هدایت الکتریکی محلول عصاره‌گیری شده از عصاره‌ی اشباعی خاک
Ec_W	هدایت الکتریکی محلول عصاره‌گیری شده از عصاره‌ی مخلوط ۱:۲ آب و خاک
	مزرعه
EC_a	هدایت الکتریکی ظاهری کالبد خاک با قراردادن الکترودهای حساس
E^*_a	القای الکترومغناطیسی یک جریان الکتریکی با استفاده از مبدل‌ها و خازن‌ها

روش دوم صحرایی حتی از این سریع‌تر بوده و آن عبارت از به‌کارگیری القای الکترومغناطیسی یک جریان الکتریکی در جسم خاک می‌باشد که میزان آن با هدایت الکتریکی، و از طرف دیگر با شوری خاک ارتباط دارد. یک میدان مغناطیسی در داخل خاک به‌وسیله‌ی یک کویل انتقال‌دهنده که در روی خاک قرار گرفته و به‌وسیله‌ی یک جریان متناوب انرژی می‌گیرد، ایجاد می‌شود. میدان مغناطیسی در داخل

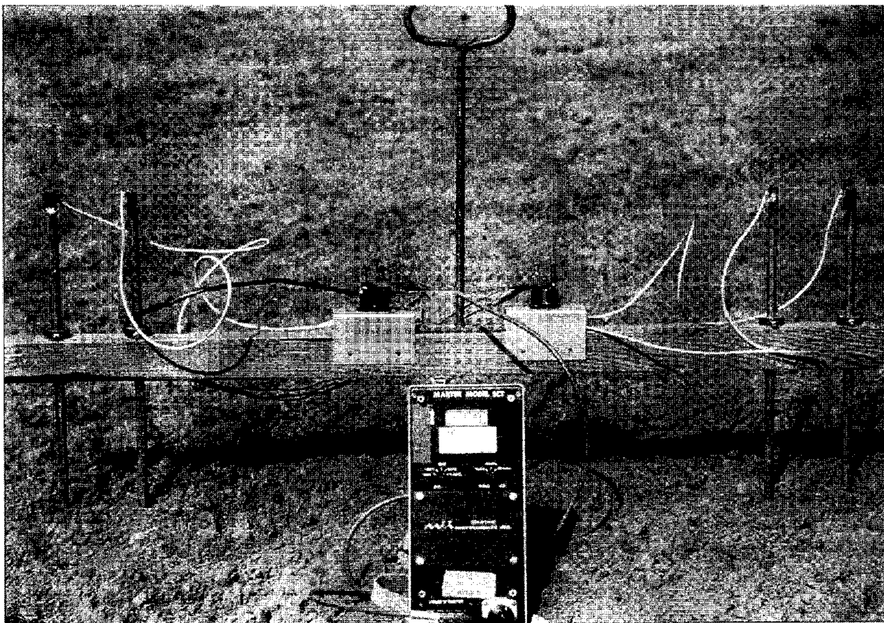
---

[1]-ESP=Exchangeable Sodium Percentage
[2] -Sodium adsorption ratio
[3] -Soil salinity
[4] -Electrical – conductivity
[5] -Saturation past extract
[6] -Shaking

خاک یک جریان کوچک الکتریکی ایجاد می‌کند که مقدار آن با هدایت الکتریکی خاک ارتباط دارد. این جریان‌های کوچک، میدان مغناطیسی ثانویه خاص خود را ایجاد می‌کنند که می‌توان به‌وسیله‌ی یک سلول دریافت‌کننده‌ی کوچک در نزدیکی آن اندازه‌گیری گردد. این دستگاه که این کویل‌های نشردهنده و دریافت‌کننده را تهیه می‌کند می‌تواند برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی زمین (E^*_a نامیده می‌شود) بدون استفاده از میله‌های حساس به‌کاررفته و در مطالعه خاک‌های شور مفیدبودن خود را به ظهور برساند (فصل ۳-۱۹ را مشاهده کنید).

از آنجاکه هدایت الکتریکی تحت تأثیر هر دو شوری و میزان آب خاک است، اندازه‌گیری صحرایی باید زمانی انجام گیرد که خاک در نزدیکی نقطه‌ی ظرفیت مزرعه باشد. در خاک‌های تحت آبیاری، بهترین اندازه‌گیری‌ها بلافاصله بعد از انجام آبیاری برای اطمینان از وجود رطوبت، به‌مقدار زیاد می‌باشد.

باید تذکر داد که هر یک از روش‌هایی که مورد بحث قرار گرفت شوری خاک را به‌طور غیرمستقیم با اندازه‌گیری هدایت الکتریکی برآورد می‌کند. امّا ارقام EC_e ، EC_W ، EC_a و یا E^*_a که طی این مراحل به‌دست می‌آیند، یکسان نخواهند بود. برای مثال برای خاک‌های خیلی شور (EC_a) اندازه‌گیری شده به‌وسیله‌ی ٤ الکترود- حساس حدود یک‌پنجم ارقام اندازه‌گیری شده در روش استاندارد در عصاره‌ی اشباعی (EC_e) می‌باشد. درهرحال، این ارقام به اندازه کافی دارای همبستگی خوبی با همدیگر بوده و بنابراین محاسبات شوری خاک بر اساس روش مرسوم استاندارد EC_e (روش عصاره‌ی اشباعی خاک) می‌تواند بیان گردد.



شکل ٦-١٠ یک حساسیت سنج چهارالکترود که برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی جسم خاک در صحرا به‌کار می‌رود. الکترودها در فاصله ثابت جدا از هم بوده به سرعت می‌توانند در داخل خاک فرو برده و اندازه‌گیری انجام شود. مجموعه‌ای از یک مولد برق قابل‌حمل و مقاومت‌سنج (در جلو عکس)، این وسیله را برای کارهای مطالعات شوری خاک بسیار مفید می‌سازد.

وضعیت سدیم خاک

دوخصوصیت برای مشخص‌کردن وضعیت سدیم در خاک‌های خیلی قلیایی وجود دارد. اول درصد سدیم قابل‌تبادل (ESP) که بیانگر میزان اشباع همتافت تبادل به‌وسیله‌ی ین سدیم می‌باشد.

$$ESP = \frac{\text{سدیم قابل‌تبادل } \mathbf{cmol_c/Kg}}{\text{ظرفیت تبادل کاتیونی خاک } \mathbf{cmol_c/Kg}} \times 100$$

مقادیرESP حدود ۱۵ سبب ایجاد pH ۸/۵ و بالاتر می‌شود. مقدار بیشتر ESP ممکن است pH را به‌۱۰ برساند.

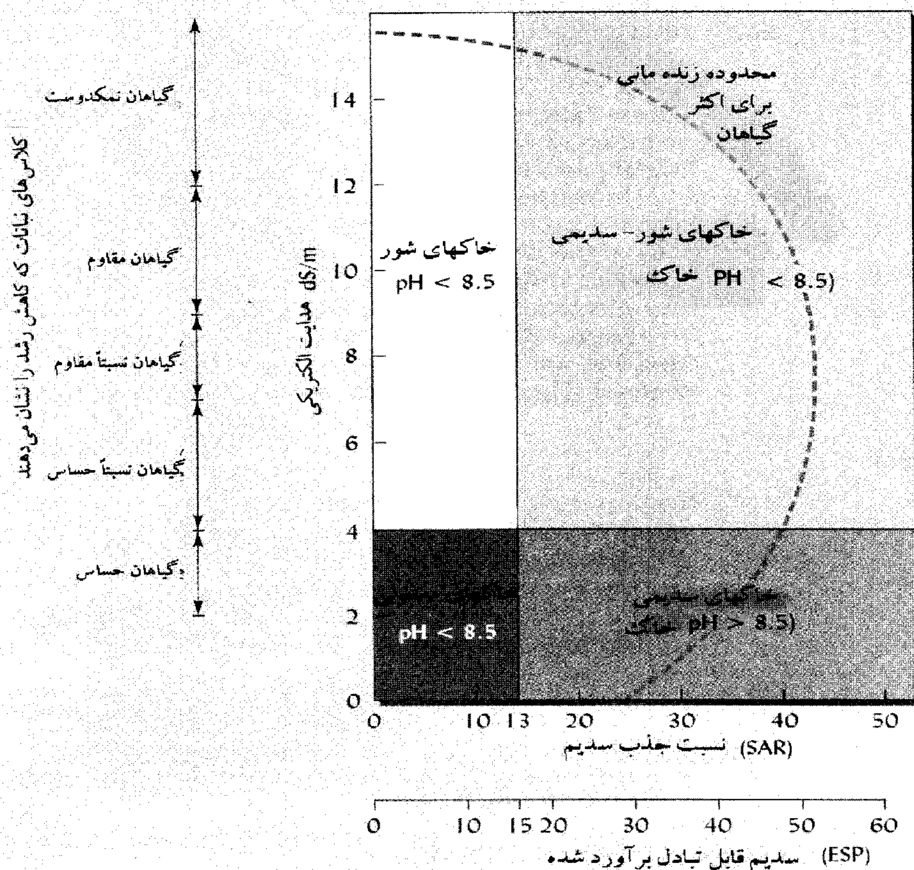
نسبت جذب سدیم SAR خصوصیت دوّم است که با سهولت بیشتر اندازه‌گیری می‌شود و کاربرد آن از ESP بیشتر شده است. نسبت جذب سدیم (SAR) اطلاعاتی درمورد غلظت نسبی ین‌های +Na ، +Ca و +Mg در محلول خاک ارائه می‌دهد این خصوصیت به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\{[Ca^{2+}]+[Mg^{2+}]\}/2}}$$

که در آن $[Na^+]$ ، $[Ca^{2+}]$ و $[Mg^{2+}]$ به‌ترتیب عبارت از غلظت یون‌های سدیم، کلسیم و منیزیم (برحسب میلی‌مول در لیتر) در محلول خاک می‌باشند. SAR عصاره‌ی اشباع خاک این نکته را مورد توجه قرار می‌دهد که اثرات منفی یون سدیم به‌وسیله‌ی وجود یون‌های کلسیم و منیزیم در محلول خاک متعادل‌تر می‌شود. SAR همچنین برای مشخص‌کردن وضعیت آب آبیاری مصرف‌شده در این خاک‌ها به‌کار می‌رود.

۵-۱۰ کلاس‌های خاک‌های مبتلا به شوری

با استفاده از خصوصیات EC ، ESP ، SAR و pH خاک، خاک‌های مبتلا به نمک به خاک‌های شور، خاک‌های شور سدیمی و خاک‌های سدیمی تقسیم بندی می‌شوند (شکل ۷-۱۰). این کلاس‌ها به‌ترتیب مورد ملاحظه قرار می‌گیرند.



شکل ۷-۱۰ نموداری که تقسیم بندی خاک‌های معمولی، شور، سدیمی و شور و سدیمی را در ارتباط با pH ، SAR ، EC وESP تشریح می‌کند. و حساسیت نباتات به شوری نیز نشان داده شده است.

خاک‌های شور

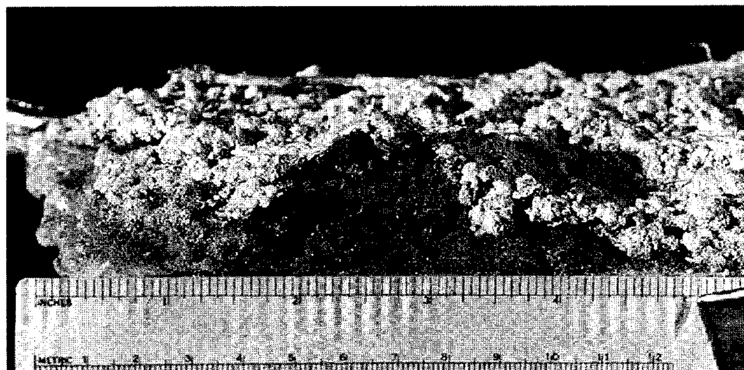
فرایند طبیعی که منجر به تجمع نمک‌های محلول خنثی می‌گردد، شور شدن[1] نامیده می‌شود. نمک‌ها معمولاً کلرور و سولفات سدیم، کلسیم، منیزیم و پتاسیم می‌باشند. خاک‌های شور حاوی غلظت‌های کافی از این نمک‌ها برای دخالت در رشد اکثر گیاهان می‌باشد. هدایت الکتریکی عصاره‌ی اشباعی محلول خاک بیشتر از ٤ دسی‌زیمنز در متر است (>4dS/m). نمک‌ها به‌وسیله‌ی فرایند تبخیر به سطح خاک آمده و سبب ایجاد یک پوسته سفید، که علت اطلاق نام قلیایی سفید[2] در بعضی مواقع برای مشخص‌کردن این خاک‌ها است، می‌گردد (شکل ۸-۱۰).

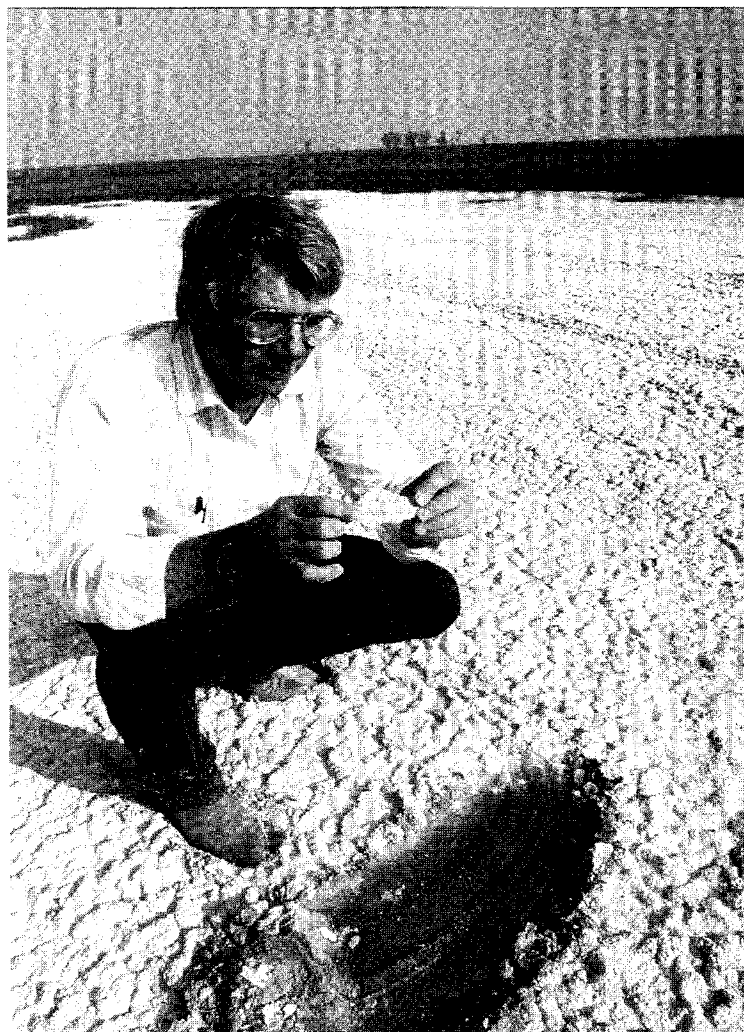
همتافت تبادلی خاک‌های شور عمدتاً به‌وسیله‌ی کلسیم و منیزیم غالب گردیده است، درنتیجه درصد سدیم قابل‌تبادل (ESP) کمتر از ۱۵ و pH معمولاً کمتر از ۸/۵ می‌باشد.

[1] - Salinization
[2] - White alkali

غلظت ین Na^{+} در محلول خاک‌های شور به‌دلیل حضور نمک‌های محلول که معمولاً دارای سدیم بالا می‌باشند از غلظت Ca^{2+} و Mg^{2+} مقداری بیشتر است. گرچه به‌خاطر تمایل بیشتر کلوییدهای خاک برای جذب ین‌های دوظرفیتی مانند Ca^{2+} و یا Mg^{2+} مقدار SAR خاک‌های شور کمتر از ۱۳/ می‌باشد.

رشد نباتات در خاک‌های شور معمولاً براثر شرایط فیزیکی نامناسب خاک دچار محدودیت نمی‌شود. نمک‌های محلول از پراکنده‌شدن کلوییدهای خاک ممانعت می‌کنند، چه، درغیراین‌صورت در اثر مقادیر زیاد سدیم تشدید می‌گردید (بخش ۹ را مشاهده کنید). ثبات خاکدانه‌ها و تهویه مناسب حاصل شوری خاک می‌باشد.





شکل ۸-۱۰ قسمت پایین عکس: لکه‌های قلیایی سفید در یک مزرعه یونجه تحت آبیاری. به‌دلیل صعود موبینه و تبخیر، نمک‌ها به سطح خاک آورده شده و در آنجا تجمع یافته‌اند. (قسمت بالای عکس)پوسته‌های سفید در یک خاک شور در کلرادو. نمک‌های سفید درتعارض با رنگ‌های تیره خاک زیر خود می‌باشد. مقیاس بر حسب اینچ و سانتی‌متر است.

خاک‌های شور و سدیمی

این خاک‌ها دارای خصوصیات حد واسط در بین خاک‌های شور و سدیمی می‌باشند (شکل ۷-۱۰). همانند خاک‌های شور آن‌ها دارای مقادیر قابل‌توجهی از نمک‌های قابل‌انحلال خنثی، آن‌چنان‌که EC_e بالاتر از ٤ دسی‌زیمنز در متر نشان می‌دهد، می‌باشند. امّا آن‌ها دارای درصد سدیم قابل‌تبادل بالاتر از ۱۵ و نسبت سدیم قابل‌جذب حداقل ۱۳ نیز هستند. رشد نباتات می‌تواند به‌طور منفی تحت تأثیر هم نمک‌های زیادی و هم میزان سدیم قرار گیرد.

شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک‌های شور و سدیمی نسبتاً شبیه خاک‌های شور است، و این به‌خاطر تأثیرات متعادل‌کننده نمک‌های خنثی می‌باشد. این نمک‌ها سبب ارایه کاتیون‌های زیادی هستند که در نزدیکی بارهای منفی ذرات کلویید حرکت می‌کنند. بنابراین، تمایل کلوییدها را برای دفع یکدیگر و یا پراکندگی کاهش می‌دهند. نمک‌ها سبب می‌شوند که ذرات کلوییدی با یکدیگر در تشکیل خاکدانه‌ها شرکت داشته باشند.

متأسفانه، این وضعیت در صورت آبشویی نمک‌ها از خاک در معرض تغییر سریع قرار می‌گیرد، به‌خصوص اگر آب مورد مصرف برای آبشویی نمک‌ها حاوی ین Na^+ زیاد و یا به‌عبارت دیگر دارای SAR بالا باشد. بنابراین، میزان سدیم قابل‌تبادل و همچنین pH خاک افزایش می‌یابد (بالاتر از ۸/۵). از آنجاکه ین‌های Na^+ در سطح ذرات کلویید بسیار نزدیک جذب نشده‌اند، بار منفی خالص ذرات کلوییدی سبب دفع ذرات به‌وسیله‌ی همدیگر، و پراکندگی آن‌ها، و بنابراین تخریب خاکدانه‌ها می‌شود (شکل۹-۱۰). کلوییدهای پراکنده‌شده در حین حرکت به‌طرف پایین در خاکرخ منافذ خاک را مسدود کرده، نفوذ آب در خاک بسیار کاهش یافته، و شرایط گلخرابی که ویژگی خاک‌های سدیمی است، ظاهر می‌شود.

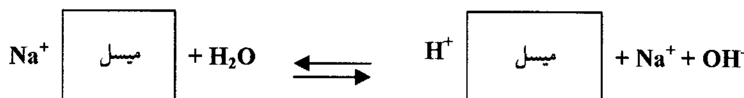
خاک‌های سدیمی

شرح مختصر قبلی چگونگی تشکیل خاک‌های سدیمی، مشخص می‌سازد که آن‌ها مسأله‌دارترین خاک‌های مبتلا به نمک‌ها می‌باشند. درحالی‌که میزان نمک‌های محلول خنثی در آن‌ها پایین است ($EC_e < 4dS/m$)، مقادیر ESP آن‌ها از ۱۵ و مقدار SAR آن‌ها از۱۳/ بالاتر است، و این نشانه مقدار نسبتاً بالای سدیم در روی همتافت جذب می‌باشد. مقدارpH خاک‌های سدیمی از ۸/۵ بالاتر بوده و در بعضی از خاک‌ها به۱۰ و یا بیشتر می‌رسد. pH بالا عمدتاً به‌خاطر آبکافت کربنات سدیم است.



$$2Na^+ + CO_3^{2-} + H_2O \rightleftharpoons 2Na^+ + HCO_3^- + OH^-$$

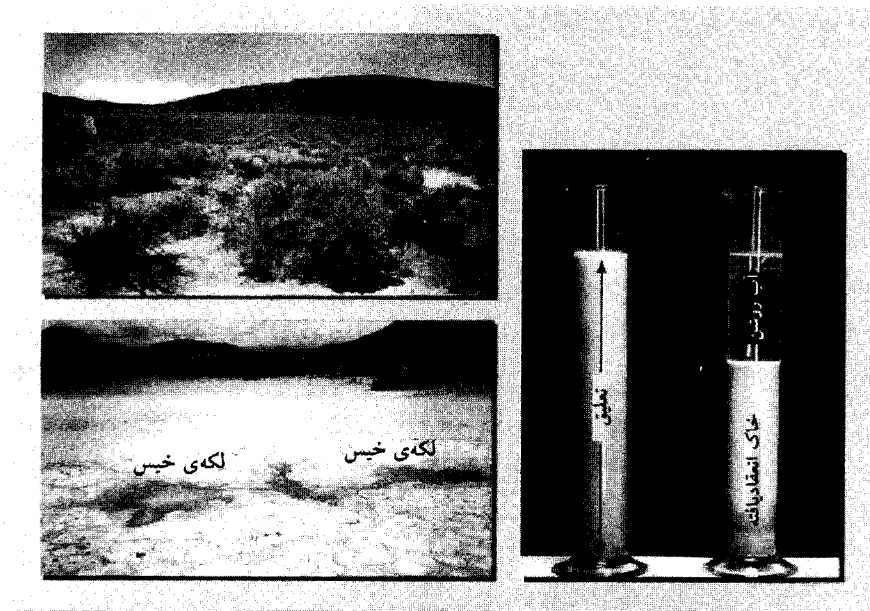
همتافت سدیم نیز در معرض آبکافت قرار می‌گیرد



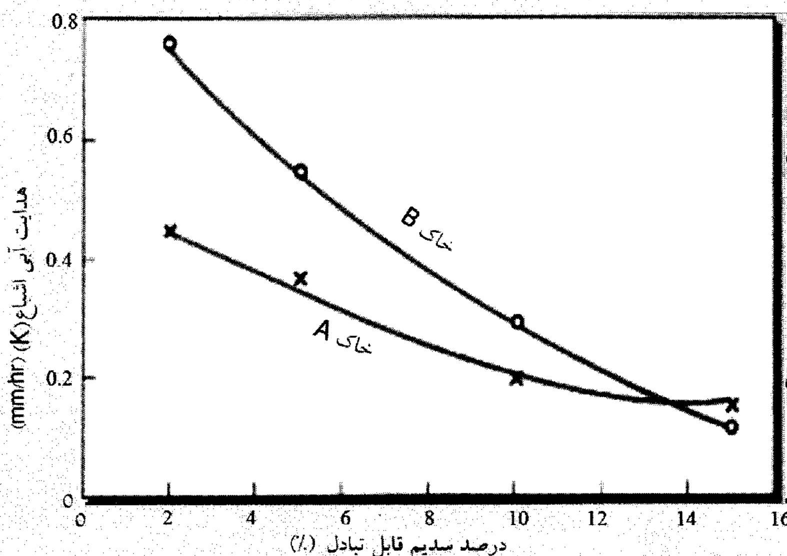
گیاهان محدودی این شرایط را تحمل می‌کنند. رشد نبات در این خاک‌ها براثر سمیت ین‌های Na^+ ، OH^- و HCO_3^-، و همین‌طور خصوصیات نامناسب فیزیکی و نفوذپذیری کم آب دچار محدودیت می‌شود (شکل ۱۰-۱۰).

به‌خاطر قلیاییت شدید حاصل از مقدار سدیم زیاد، سطح خاک سدیمی به‌وسیله‌ی هموس پراکنده شده که با آب موینه بالا آمده و براثر تبخیر رسوب یافته است، تیره رنگ می‌باشد. بنابراین نام قلیایی سیاه[1] برای تشریح این خاک‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. در بعضی مواقع این خاک‌ها در منطقه کوچکی که نقاط براق[2] نام دارند، قرار گرفته‌اند. خاک‌های سدیمی ممکن است با خاک‌هایی که نسبتاً حاصل‌خیز باشند محاصره شده باشند.

---
[1] - Black Alkali
[2] - Slick Spots



شکل ۹-۱۰ تشریح پراکندگی کلوییدها در یک خاک سدیمی در جنوب کلرادو. خاک سدیمی (عکس چپ پایین) در مقایسه با خاک قلیایی امّا غیرسدیمی مجاور (عکس چپ سمت بالا) عاری از پوشش می‌باشد. به‌خاطر پراکندگی کامل کلوییدهای خاک، همان‌طورکه نقطه مرطوب در مرکز عکس سمت چپ پایین مشخص می‌کند، آب از داخل خاک‌های سدیمی با آهستگی حرکت می‌کند. برای بررسی پراکندگی رس نمونه‌های از خاک رسی در استوانه قرار داده و با آب به‌طور کامل مورد تکان‌دادن قرار گرفتند. رس‌ها به‌شدت پراکنده شدند و ته نشست قابل‌مشاهده‌ای در طول سه هفته مشاهده نشد (سیلندر سمت چپ). برای تقویت انعقاد (به‌هم‌پیوستن ذرات) ذرات رس یک قاشق نمک آشپزخانه (NaCl) به استوانه سمت راست اضافه گردید و مخلوط مجدداً به‌طور کامل تکان داده شد. انعقاد شروع و بعد از ۲٤ساعت مقدار آن قابل‌ملاحظه گردید (استوانه‌ی سمت راست). نمک سبب تقویت انعقاد گردید که در خاک، قدم اول خاکدانه‌سازی، زه‌کشی و تهویه بهتر می‌باشد. این آزمایش، خصوصیات تأسف بار فیزیکی خاک‌های سدیمی را به نمایش می‌گذارد و همچنین نشان می‌دهد که نمک‌ها در خاک‌های شور و سدیمی از پراکندگی نامطلوب کلوییدهای خاک که اثرات نامطلوب خاک‌های سدیمی بیشتر مربوط به آن است، ممانعت کنند



شکل ۱۰-۱۰ تأثیر افزایش ESP بر روی هدایت آبی اشباع دو نوع خاک در ایتالیا. به کاهش مرتب هدایت آبی با افزایش ESP و آبگذری بسیارکم درESP مساوی ۱۵ توجه کنید

۶-۱۰ رشد نباتات در خاک‌های شور و خاک‌های سدیمی

نباتات به خاک‌های مبتلا به نمک از راه‌های مختلفی عکس‌العمل نشان می‌دهند. غلظت بالای نمک‌های محلول از طریق اثر آن‌ها بر روی پتانسیل اسمزی (فصل ۳- ۵ را مطالعه کنید)، سبب کاهش رشد نباتات در خاک‌های شور و شور و سدیمی می‌شود. سلول‌های ریشه

در تماس با محلول خاک غنی از نمک‌ها آب خود را از طریق اسمز به محلول غلیظ‌تر آب خاک از دست می‌دهند، سپس سلول ریشه متلاشی می‌شود. نوع نمک، گونه‌های گیاهی و میزان نمکی‌شدن عواملی هستند که غلظتی را که در آن سلول از پای در می‌آید، مشخص می‌سازند. شرایط فیزیکی نامناسب (حرکت محدود آب‌وهوا) در بعضی از خاک‌های شور- سدیمی ممکن است عامل تعیین‌کننده در نوع نباتی باشد که در این خاک‌ها می‌تواند رشد کند.

خاک‌های سدیمی اثرات زیان‌بار خود را بر گیاهان از ۵ طریق اعمال می‌کنند : ۱) اثرات حاصل از pH بالا ناشی از کربنات و بی‌کربنات سدیم ۲) سمیت حاصل از بی‌کربنات و دیگر آنیون‌ها ۳) اثرات منفی ین سدیم بر سوخت‌وساز و تغذیه گیاهان ٤) قابلیت استفاده اندک عناصر کم‌مصرف به‌دلیل pH بالا و ۵) کمبود اکسیژن ناشی از تخریب ساختمان خاک.

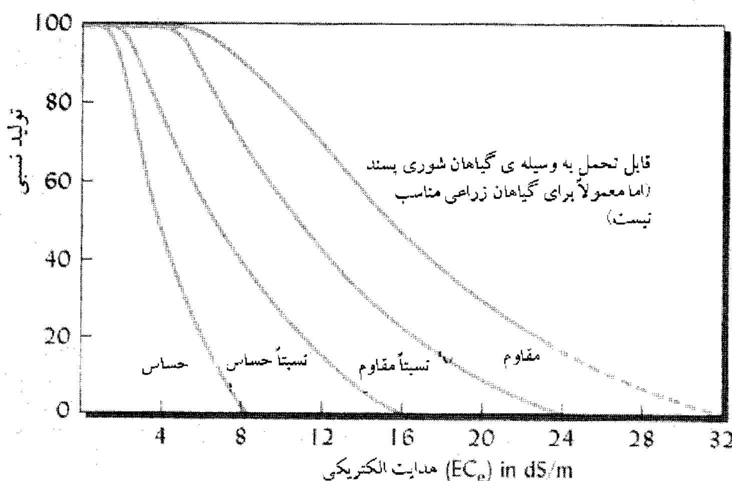
۷-۱۰ مقاومت انتخابی گیاهان به خاک‌های شور و خاک‌های سدیمی

رشد رضایت‌بخش گیاهان در خاک‌های نمک‌دار در ارتباط با شماری عوامل وابسته به‌یکدیگر، از جمله ساختمان فیزیولوژیکی نبات، مرحله‌ی رشد و شیوه ریشه‌دوانی آن می‌باشد. جالب توجه است اگر اشاره شود که بوته‌های یونجه پیر به خاک‌های نمک‌دار بیشتر مقاوم می‌باشند تا نباتات جوان آن، و نیام‌داران ژرف[1] ریشه مقاومت بیشتری درمقایسه با نیام‌داران سطح[2] ریشه در خاک‌های نمک‌دار نشان می‌دهند.

خصوصیات خاک از جمله سرشت نمک‌های مختلف، مقدار نسبی، غلظت کل و توزیع آن‌ها در خاکرخ باید مورد ملاحظه قرار گیرد. ساختمان خاک و شرایط زه‌کشی و تهویه آن نیز مهم می‌باشند.

حساسیت نباتات

درحالی‌که پیش‌بینی درست مقاومت گیاهان در خاک‌های نمک‌دار مشکل است، آزمایش‌های مختلف طبقه‌بندی گیاهان اهلی شده را در چهار گروه کلی بر اساس مقاومت آن‌ها به شوری ممکن ساخته است. شکل ۱۱-۱۰ توان تولیدی نسبی این گروه‌ها را تحت تأثیر شوری خاک اندازه‌گیری شده در عصاره‌ی اشباعی خاک (ECe) نشان می‌دهد. جدول ۳-۱۰ فهرستی از بسیاری نباتات را بر اساس این طبقه‌بندی ارائه می‌دهد. توجه داشته باشید که درختان، بوته ها، میوه‌ها و سبزی‌ها و گیاهان زراعی در دسته‌های مختلف مقاومت آمده‌اند.



شکل ۱۱-۱۰ توان تولیدی نسبی چهار گروه از نباتات بر اساس حساسیت آن‌ها به شوری اندازه‌گیری شده به‌وسیله‌ی هدایت الکتریکی. دسته بندی نباتات در جدول ۳-۱۰ نشان داده شده است.

به این فهرست گونه‌های اهلی باید دو منبع دیگر از نباتات دارای توان رشد در خاک‌های نمکی اضافه گردد که عبارتند از ۱) گیاهان نمک‌دوست[3] وحشی و ۲) ارقام مقاوم به نمک که به‌وسیله‌ی اصلاح‌کنندگان نباتات زراعی تکامل یافته‌اند. تعدادی از گیاهان نمک‌دوست یافت می‌شوند که کاملاً مقاوم به نمک‌ها بوده و دارای خصوصیاتی می‌باشند که می‌تواند آن‌ها را برای مصرف انسانی و/ یا حیوانی مفید سازد. گرچه ممکن است آن‌ها مقادیر زیادی نمک را در ساقه‌ها و برگ‌های خود جمع کنند. امّا بذر آن‌ها از نظر پروتیین و چربی چندان متفاوت با گیاهان اهلی نمی‌باشد.

---

1 - Deep-rooted legumes
2 - Shallow-rooted legumes
3 - Wild halophytes

جدول ۳-۱۰ مقاومت نسبی گیاهان خاص به خاک‌های شور

مقاوم	مقاومت متوسط	حساس متوسط	حساس
جو (دانه ای)	زبان گنجشک(سفید)	یونجه	بادام
چمن برمودا (مَرغ)	صنوبر لرزان[۳۳]	اربورویت[۱]	سیب
گیلاس سیاه	جو علوفه ای	شمشاد[۳]	زردآلو
بوگاین ویلا[۲]	درخت غان (سیاه)	لوبیا پهن	آزالیا
سدر(قرمز)	چغندر معمولی	کلم گل	راش
پنبه	کلم بروکسل	کلم معمولی	لوبیا
خرما	چمن جارویی[٤]	کرفس	غان
نارون	آکاسیاکت لاو[۳٤]	شبدرالسیک[۸]	توت سیاه
آقاقیا	گاو دانه	لادینو قرمز[۱۲]	توت بویسن[۵]
گوجه ناتال[٦]	فستوکا بلند	توت فرنگی	بور فورد هولی[۹]
علف قلیایی نوتال[۱۰]	انجیر	شبدر برسیم	هویج
بلوط(قرمز و سفید)	علف هاردینگ[۷]	ذرت	کرفس
زیتون	هانی ساکل[۱۱]	خیار	درخت سگ[۱۵]
کوخیای خوابیده	هیدرانجا[۱۳]	چمن دالاس[۲۰]	نارون امریکایی
علف رهایی[۱٦]	اُرس[۱٤]	انگور	گریپ فروت
رزماری[۱۸]	کال[۱۷]	گردوی‌آمریکایی(پوست خشن)[۳۵]	شوکران
رگوزا[۱۹]	اقاقیا(سیاه)	اُرس	بامیه
چمن شور[۲۲]	نارنگی	افرای قرمز[۳٦]	لارچ[۲۱]
گز	چمن علف باغ	کاهو	لیمو
علف گندمی تاج‌دار(صلیبی)	پولاف	نخود	لیندن[۲۳]
علف گندمی فایروی[۲۵]	انار	بادام زمینی	افرای شکری[۳۷]
علف گندمی بلند	پریوت[۲٤]	ترب	پیاز
چاودار وحشی (التای)[۲٦]	چاودار(علوفه)	برنج	پرتقال
چاودار روسی	چمن چاودار(دایمی)	کدو	هلو
بید	گلرنگ	نیشکر	گلابی
-	ذرت خوشه‌ای(سورگوم)	شبدر شیرین	کاج(سرخ - سفید)
-	لوبیا روغنی	سیب زمینی شیرین	آناناس
-	کدو زوچینی[۲۷]	تیموتی	گوجه
-	علف سودان	شلغم	سیب زمینی
-	شبدر(سه‌پر-پنجه‌مرغی)	خلر-ماش	راسپ بری[۲۸](تمشک‌سوهانی)
	گندم	ویبرنوم[۳۲]	گل سرخ
	علف گندم غربی		یاسمن ستاره ای[۳۰]
			توت فرنگی
			گوجه فرنگی

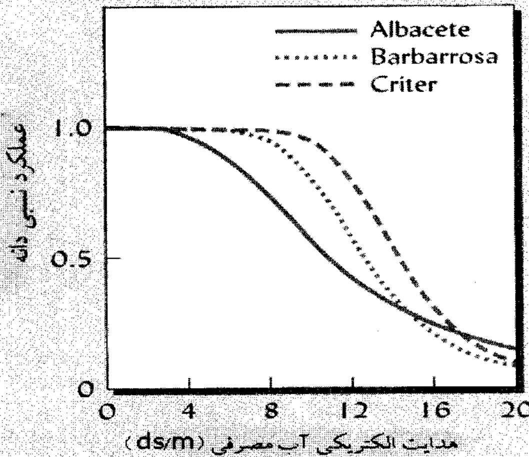
1)Arborvitae 2)Bougainvillea 3)Box weed 4)Brome grass 5)Boysenberry 6)Natal plum 7)Harding grass 8)Clover/ Alsik 9)Burford Holly 10)Nutal Alkali Grass 11)Honeysuckle 12)Clover Ladino,Red 13)Hydrangea 14)Juniper 15)Dog wood 16)Rescue grass 17)Kale 18)Rose mary 19)Rugosa 20)Dallis grass 21)Larch 22)Salt grass 23)Linden 24)Privet 25)Wheat grass Fair Way 26)Wild rye altai 27)Squash,Zucchini 28)Rasp berry 29)Timothy 30)Star yasmine 31)Sugar Maple 32)Viburnum 33)Aspen 34)Catlaw Acacia 35)Hickory(Shagbark) 36)Maple (قرمز) 37)Maple(Sugar)

متخصصین اصلاح نبات قادر به معرفی ارقام جدیدی شده‌اند که مقاومت آن‌ها به شوری بیشتر از ارقام معمولی می‌باشد. مثالی به‌وسیله‌ی اطلاعات موجود در شکل ۱۲-۱۰ نشان داده شده است که بیانگر تولید بالاتر در ارقام اصلاح شده جو می‌باشد. انتخاب نباتات و اصلاح آن‌ها باید یکی از اهداف آتی برای حفظ، و یا حتّی افزایش تولید محصولات غذایی بر روی خاک‌های نمک‌دار باشد. گرچه اصلاح مقاومت گیاهان نباید به‌عنوان جانشینی برای برنامه‌های مناسب جلوگیری شوری تلقی گردد.

مسایل شوری بدون ارتباط با اقالیم خشک

در شهرها که نمک‌های ذوب یخ در مقادیر زیاد در طول ماه‌های زمستان به‌کار می‌رود، ممکن است بر روی خاک‌ها و گیاهان کنار جاده دارای اثراتی باشد. استفاده مکرر از نمک‌های ذوب یخ می‌تواند میزان شوری را چنان بالا برد که در رشد درختان در کنار یک بزرگراه نمک‌پاشی‌شده و یا در کنار یک پیاده‌رو تأثیر منفی داشته باشد. شکل ۱۳-۱۰ خسارت ناشی از این عملیات را نشان می‌دهد برای اجتناب از مسایل فیزیکی و شیمیایی خاص همراه با نمک‌های سدیم بسیاری از شهرنشینان از NaCl به KCl روی آورده‌اند. برخلاف شوری در مناطق خشک، چنین آلودگی نمک معمولاً موقتی بود. زیرا باران زیاد این نمک‌ها را در طول چند هفته و یا ماه آبشویی می‌کند.

شوری در گیاهان گلدانی به‌خصوص در گیاهان چندساله که برای مدت طولانی در همان گلدان باقی می‌مانند، می‌تواند مسأله‌ساز باشد. اگر آبشویی نمک‌های موجود درآب و هم چنین در کودهای شیمیایی گاه‌به‌گاه آن‌ها مورد توجه قرار نگیرد، می‌توانند در خاک تجمع یابند



شکل ۱۲-۱۰ مقاومت سه رقم جو بـه شـوری آب مصـرف شده برای رشد آن‌ها به‌طور معنـی‌داری متفـاوت مـی‌باشـد. چنین اختلافات توارثی می‌توانند در اصلاح گونه‌هـای دارای مقاومت بیشتر به شوری مفید واقع شوند.



شکل ۱۳-۱۰در طول ماه‌های زمستان در بعضی از مناطق معتدل کلرور سدیم و سایر نمک‌ها برای ذوب برف و یخ خیابان‌ها و پیاده‌روهای اطراف آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. مصرف زیاد این مواد شیمیایی می‌تواند صدمات شوری به گیاهان، مشابه به آنچه در خاک‌های شور مناطق خشک تجربه شده است وارد کند. (سمت چپ) تراکم موضعی نمک در اثر تل‌انبارشدن برف نمک‌زده درکنار یک جاده. (سمت راست) صدمه وارده به برگ ناشی از جذب نمک اضافی به‌وسیله‌ی گیاه.

۸-۱۰ مدیریت خاک‌های شور و سدیمی

اولین نیاز برای مدیریت عاقلانه خاک‌های مبتلا به نمک، آگاهی درمورد مقدار و سرشت نمک‌های افزوده و خارج شده از خاک می‌باشد. در مناطق تحت آبیاری، این به‌معنی دانستن کیفیت آب آبیاری و وضعیت زه‌کشی است.

ملاحظات مربوط به کیفیت آب

کیفیت آب اضافه شده به خاک‌های نمک‌دار مهم‌ترین وسیله‌ی مدیریت می‌باشد. برای مثال، اگر آب دارای نمک خیلی کمی باشد، مانند آب باران، سبب تسریع در تبدیل یک خاک شور- سدیمی به خاک سدیمی می‌شود. آب باران نه‌تنها سبب آبشویی نمک‌های محلول در چند سانتی‌متری فوقانی خاک می‌گردد، بلکه با ضربات ناشی از قطرات پراکندگی کلوییدهای خاک را باعث می‌شود، که قدم اولیه در فرایند توسعه‌ی خاک‌های سدیمی می‌باشد.

اگر میزان نمک آب آبیاری خیلی زیاد باشد و به‌خصوص اگرSAR آب نیز بالا باشد، فرایند تشکیل خاک‌های سدیمی تسریع خواهد یافت. حضور بی‌کربنات‌ها در آب آبیاری نیز همچنین می‌تواند یون‌های Ca^{2+} و Mg^{2+} را در محلول خاک با رسوب‌دادن آن‌ها به‌صورت کربنات‌های غیرمحلول کاهش دهد. این خصوصیات آب آبیاری می‌تواند سبب افزایش SAR محلول خاک و حرکت خاک به‌سوی خاک سدیمی گردد.

کیفیت و وضعیت پساب‌های آبیاری به‌خاطر توان زیان‌رسانی آن‌ها به بهره‌برداران و زیستگاه‌های پایاب رودخانه باید مورد نظارت دقیق قرار گیرد. زهاب حاصل از یک شبکه‌ی آبیاری، که ممکن است از نظر نمک‌ها و وجود یک و یا چند عنصر دارای غلظت بالا باشد، احتمال دارد که وارد یک نهر شده و در مناطق پایین دست مورد استفاده قرار گیرد. برای نمونه، در بعضی مناطق در غرب آمریکا مقادیر سمی عناصر کمیاب مانند سلینیم، مولیبدن، و بر در اراضی مرطوب پایین رودخانه و یا استخرهای تبخیری تجمع یافته‌اند. تابلو ۱-۱۰ نشان می‌دهد که چنین تمرکزهایی چگونه صورت می‌گیرد. جدول ٤-۱۰ مطرح می‌کند که گیاهانی که در این مناطق آلوده رشد می‌کنند، می‌توانند مقادیری از این عناصر را که برای دام‌های اهلی و/ یا وحشی زیان‌بار می‌باشند، برداشت کنند. سمّیت سلینیم، به‌خاطر خسارت آن به پرندگان آب‌زی در بخش‌هایی از کالیفرنیا شناخته شده است.

میزان نمک‌های محلول منابع مختلف آب با همدیگر بسیار متفاوت می‌باشند. اطلاعات مربوط به شماری از منابع آب از آب‌های آبیاری دارای کیفیت خوب تا آب‌های اقیانوس کبیر در جدول ۵-۱۰ نشان داده شده است. توجه داشته باشید که حتی رودخانه کلرادو دارای میزان نمک چنان بالایی است که استفاده‌کنندگان را از نیاز به مدیریت عاقلانه آبیاری برای حفظ کیفیت خاک آگاه می‌سازد. در واقع هنگامی که رودخانه کلرادو به مرز امریکا/ مکزیک می‌رسد میزان بار نمک آن از نظام‌های آبیاری بالادست و مصارف خانگی و صنعتی چنان بالاست که یک کارخانه‌ی عظیم زدودن شوری آب ساخته شده است تا آمریکا بتواند به تعهدات پیمان خود با مکزیک جامه‌ی عمل بپوشاند. تا حال استفاده از این کارخانه لازم نبوده است، زهاب از نظام‌های آبیاری مناطق پایین آمریکا (دره‌ی ولتون موهاوک[1]) با نهری که به موازات رودخانه‌ی کلرادو می‌باشد به دریای کورتز انتقال یافته است. این بیانگر پاره‌ای از اثرات زیست‌محیطی آبیاری است که در بعضی از نقاط جهان تجربه گردیده است.

جدول٤-۱۰ مقادیر مولیبدن، سلینیم، در سه گونه‌ی علف مقاوم به شوری که در یک خاک خیلی شور که مقادیر زیادی از پس‌مانده‌های آبیاری (زهاب) را در دره سن‌واکین[2] در کالیفرنیا دریافت داشته است. حد بالا (ایمنی) برای مصرف حیوانات (مقدار سمیت بالقوه) نیز نشان داده شده است.

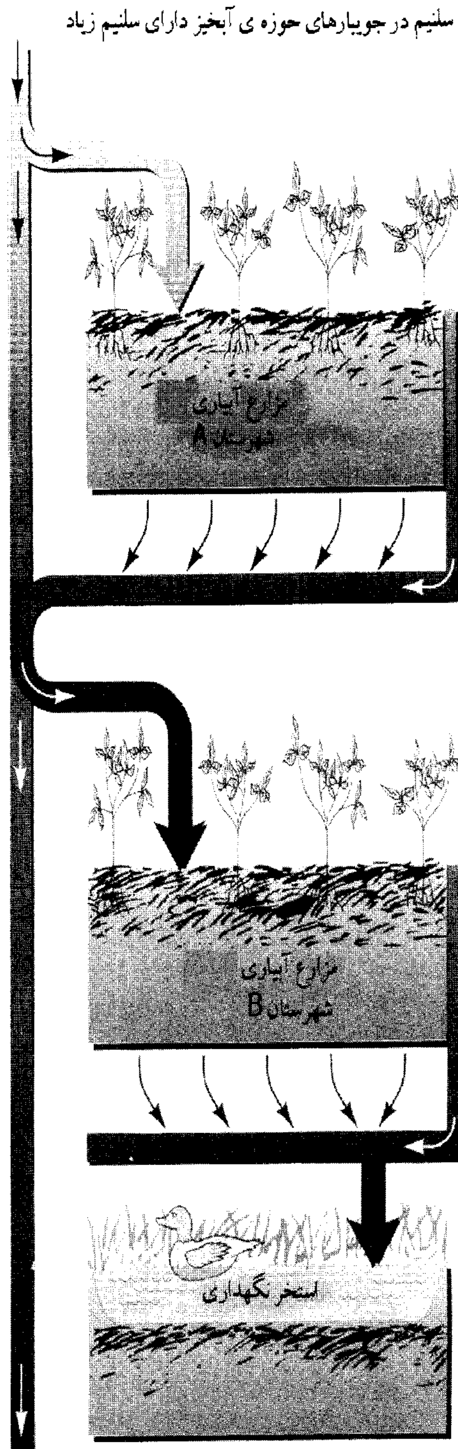
عناصر کمیاب	میزان سمیت بالقوه mg/kg	مقدار در علوفه		
		*چمن گندمی بلند	**علف قلیایی	*** گون
مولیبدن	۵	۲٦	۱۰	۱۸
سلینم	۵	۱۲	۹	٦۷۰

*** Tall wheatgrass** **** Alkali sacation** ****Astragalus racemosus*

[1] - Welton – Mohawk valley
[2] - San Joaquin valley

تابلو ۱-۱۰ سلنیم در خاک‌های تحت آبیاری

استفاده از آب آبیاری دارای سلینیم می‌تواند سبب تجمع سلنیم در مقادیر سمی در خاک‌ها و در پساب آبیاری حاصل از این خاک‌ها گردد. سلنیم در گیاهانی که برروی این خاک‌ها می‌رویند و یا در مناطق مرطوب نزدیک آن‌ها که پساب در آن‌جا دفع می‌گردد، تمرکز می‌یابد.



در بعضی مناطق غرب آمریکا رسوبات دریاچه‌ای و پلمه‌سنگ‌های از دوره کرتاسه یافت می‌شوند که از سلنیم زیادی برخوردارند.

در شرایط قلیایی و زه‌کشی مناسب فرم سلنات (SeO_4^{2-}) سلنیم فراوان است. سلنات بسیار شبیه سولفات در آب محلول بوده و به آسانی برای جذب گیاهان قابل‌استفاده می‌باشد. آن‌ها از حوزه‌های آب‌خیز که دارای سلنیم زیادند به‌داخل رودخانه و یا نهرهای انتقال آب آبیاری وارد می‌شوند.

در نقاشی تشریح شده است که چگونه استفاده مجدد از آب‌های آبیاری دارای سلنیم زیاد می‌تواند مسایل حاد زیست‌محیطی را به‌بار آورد. جویبارهای حوزه‌های آبخیز دارای سلنیم زیاد آب آبیاری را برای شهرستان A تأمین می‌کند. مقدار سلنیم در آب آبیاری (که با پهنای پیکان نشان داده شده است) بالا است امّا چنان نیست که سبب مسایل زیست‌محیطی گردد.

با تبخیر و تعرق آب آبیاری، سلنیم در داخل خاک و پساب‌های زهاب حاصل از آن تمرکز پیدا می‌کند. این زهاب به رودخانه‌ای که برای شهرستان B آب آبیاری تأمین می‌کند برمی‌گردد و یا پمپاژ می‌شود. این فرایند تکرار گشته و سلنیم درداخل خاک و آب آبیاری تمرکز می‌یابد (رنگ تیره‌تر) به‌صورتی‌که دیگر برای آبیاری قابل‌استفاده نیست. سپس آب به‌داخل اراضی مرطوب و یا استخرهای کم عمق نزدیک پمپاژ می‌شود، در هر دو مورد بخش اعظم آب تبخیر یافته و سبب باقی‌ماندن سلنیم در آب و خاک منطقه نگهداری آب می‌شود. گیاهانی که دراین باتلاق‌ها و یا اراضی ماندابی می‌رویند سلنیم را جذب کرده و میزان آن در بافت نباتی چنان بالا می‌رود که برای حیوانات مزرعه و حیات‌وحش سمی می‌شود. تغییرشکل و مرگ پرندگان مهاجر در اثر چنین میزان بالای سلنیم حاصل شده است. همین‌طور ممکن است احشام با خوردن گیاهان دارای سلنیم زیاد در معرض سمیت سلنیم قرار گیرند.

اقداماتی برای کاهش و حذف رهاکردن آب‌های دارای سلنیم به اراضی ماندابی به‌عمل آمده است. محققین به‌دنبال گیاهانی هستند که بتوانند سلنیم زیادی از اراضی استخراج کرده و سپس از بین برده شوند. سایر تحقیقات نشان داده‌اند که بعضی از ریزجانداران می‌توانند سبب تشکیل ترکیبات گازی فرار سلنیم گردند که به آرامی وارد نیوار می‌شود. اثرات زیست‌محیطی سلنیم با توجه به اثرات آن‌ها در روی تمام موجودات زنده مدیریت آب و خاک را خاطر نشان می‌سازد.

اهداف مدیریتی : هدف اولیه در مدیریت خاک‌های نمک‌دار، کم‌کردن محدودیت‌های تولید محصولات، یعنی نمک‌های محلول اضافی و سدیم قابل‌تبادل خاک است. ازبین‌بردن این موانع سبب ایجاد تغییرات متعدد فیزیکی و شیمیایی می‌شود که خاک را به حالت تولید بیشتر باز می‌گرداند. بنابراین، کل فرایند تحت عنوان اصلاح[1] خاک‌ها نامیده می‌شود. اصلاح خاک‌های مبتلا به نمک عملاً به‌مقدار زیادی در ارتباط با وجود آب آبیاری کافی با کیفیت خوب برای آبشویی املاح از خاک می‌باشد. در مناطقی که آب آبیاری وجود ندارد مانند نشت آب شور دریا در ایالت‌های شمالی دشت‌های بزرگ، آبشویی املاح عملی نیست. در این مناطق باید نباتات با ریشه ژرف برای پایین‌بردن سطح آب زیرزمینی و جلوگیری از حرکت روبه‌بالای نمک کاشته شوند.

۹-۱۰ اصلاح خاک‌های شور

خارج‌ساختن نمک‌های اضافی از خاک‌های شور نیازمند دسترسی به آب آبیاری کافی با نسبت پایین SAR و وجود نظام زه‌کشی داخلی مؤثر است که بتواند آب حاوی نمک را پس از آبشویی نمک‌ها از داخل خاک عبور دهد. اگر زه‌کشی طبیعی زمین برای تطابق با میزان زه آب ناکافی باشد، باید یک شبکه‌ی زه‌کشی مصنوعی نصب گردد. استعمال متناوب آب آبیاری اضافی ممکن است برای کاهش مؤثر مقدار نمک خاک به میزان مورد نظر لازم باشد. این فرایند می‌تواند با اندازه‌گیری EC خاک با استفاده از روش عصاره‌ی اشباعی و یا اندازه‌گیری با روش‌های صحرایی مورد نظارت قرار گیرد.

مقدار آب لازم برای خارج‌کردن نمک‌های اضافی از خاک‌های شور که نیاز آبشویی(LR)[2] نامیده می‌شود با توجه به خصوصیات نبات کاشته شده، آب آبیاری و خاک تعیین می‌شود. مقدار تقریبی LR درخاک‌ها با شرایط شوری یکنواخت به‌وسیله‌ی نسبت شوری آب آبیاری (بر حسب هدایت الکتریکی آنEC_{iw}) به حداکثر شوری قابل‌قبول خاک برای نبات کاشته شده (برحسب هدایت الکتریکی زهاب EC_{dw}) بیان می‌شود.

$$LR = Ec_{iw} / EC_{dw}$$

LR عبارتست از آب اضافه‌تر از آن‌چه برای مرطوب‌کردن سرتاسر خاک و تأمین نیازهای تبخیر و تعرق لازم است. توجه داشته باشید اگرEC_{iw} بالا بوده و حساسیت بالای گیاه مورد نظر برای کشت لازمه EC_{dw} پایین باشد،LR بزرگی حاصل خواهد شد. مثالی از چگونگی محاسبه LR در تابلو ۲-۱۵ ارائه شده است.

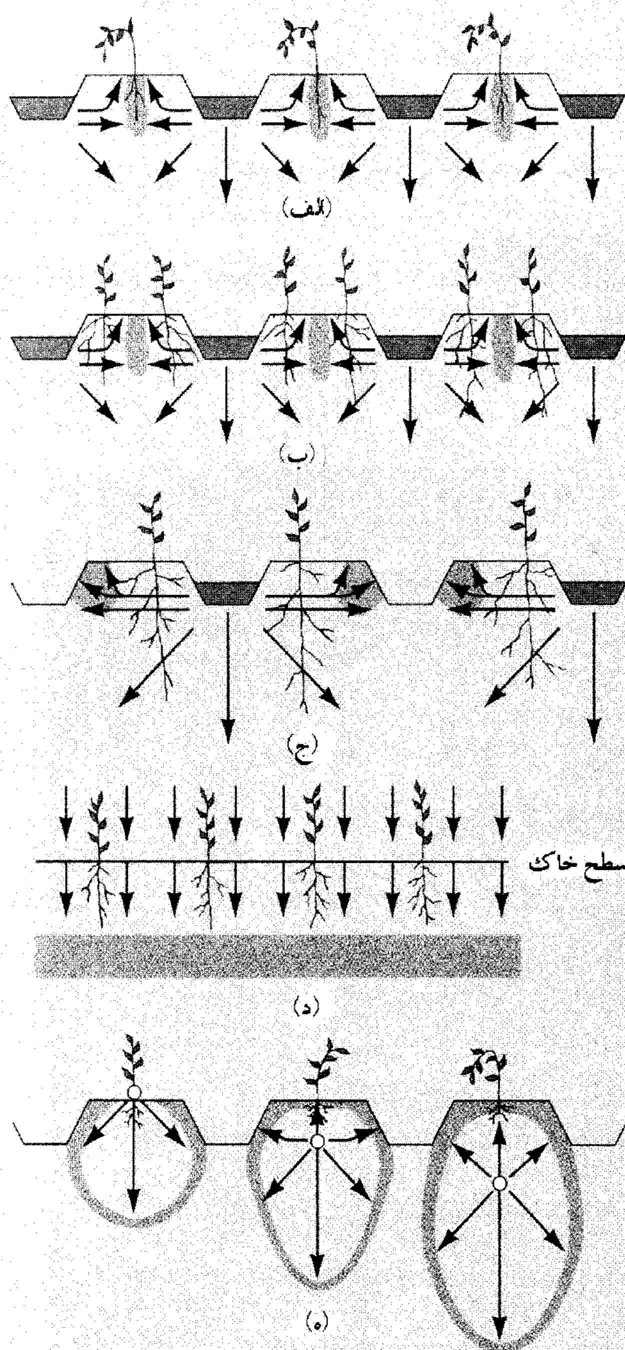
خارج‌کردن زهاب پس از انجام آبشویی خاک باید مورد توجه قرار گیرد. اگر این آب بدون ایجاد خطر شوری و یا آلودگی نتواند به یک رودخانه و یا یک نهر برگردانده شود باید سایر راه‌ها را برای دفع آن در نظر گرفت.

همان‌طورکه قبلاً گفته شد باید احتیاط لازم را برای به‌حداقل‌رساندن بار شوری برای بهره‌برداران پایین دست معمول داشت. عملیات خاک‌ورزی و کشت‌وکار می‌توانند در تولید محصولات در خاک‌های شور مؤثر باشند. هرنوع خاک‌ورزی و یا عملیات مدیریت بقایای سطحی (مانند خاک‌ورزی حفاظتی) که تبخیر را از سطح خاک کاهش دهد انتقال نمک‌های محلول را نیز به‌طرف بالا کاهش خواهد داد. به‌همین ترتیب طرح‌های آبیاری خاص مانند آن‌هایی که از نظام بارانی و قطره‌ای استفاده می‌کنند (فصل ۲۲-۶را مشاهده کنید)، و همین‌طور روش‌های کشت برای گیاهان ردیفی، می‌تواند تراکم نمک را بلافاصله در اطراف ریشه‌های جوان نبات کاهش دهد (شکل ۱۴-۱۰ را مشاهده کنید).

جدول۵-۱۰ مقایسه شوری ٦ منبع مختلف آب که به‌وسیله‌ی هدایت الکتریکی و میزان مواد جامد محلول اندازه‌گیری شده است.

اندازه‌گیری شوری	کیفیت آب آبیاری: خوب	کیفیت آب آبیاری: حاشیه ای	رودخانه کلرادو	رودخانه آلامو	آب زیرزمینی صحرای نگو خاورمیانه	اقیانوس کبیر
هدایت الکتریکی dS/m	۰-۱	۱-۳	۱/۳	٤	٤-۷	٤٦
مواد جامد حل شده p.p.m	۰-۵۰۰	۵۰۰-۱۵۰۰	۸۵۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰-٤۵۰۰	۳۵۰۰۰

[1] - Reclamation
[2] -Leaching requirement



شکل ۱۴-۱۰ اثر آبیاری بر حرکت نمک و رشد گیاه در خاک‌های شور. (الف) آب آبیاری در دو جویچه در کنار ردیف کشت در کرت توزیع شده و سبب حرکت نمک‌ها به وسط پشته، جایی‌که ردیف کشت قرار داشته گردیده و سبب صدماتی به ریشه نبات خواهد شد. (ب) با جایگذاری ردیف‌های کشت در کناره‌های پشته از صدمات وارده قبلی جلوگیری می‌کند. (ج) توزیع آب در جویچه به‌طور یک در میان و ردیف‌های کشت در کناره پشته نزدیک به جویچه آبیاری از تراکم زیاد نمک ممانعت می‌کند. (د) آبیاری بارانی و یا آبیاری یکنواخت کرتی سبب حرکت نمک‌ها به پایین و تخفیف مشکل خواهد شد. (ح) آبیاری قطره‌ای و یا قطره چگانی سبب حذف نمک و یا تجمع آن، بسته به جایگذاری محل قطره‌چکان‌ها می‌گردد.

۱۰-۱۰ اصلاح خاک‌های شور- سدیمی و سدیمی

خاک‌های شور- سدیمی دارای بعضی خصوصیات منفی هر دو خاک شور و سدیمی می‌باشد. همان‌طورکه قبلاً گفته شد، اگر در خاک‌های شور- سدیمی اقدام به آبشویی نمک‌های محلول کنیم، میزان سدیم قابلِ‌تبادل (Na^+) و هم چنین pH محلول خاک افزایش یافته وخاک خصوصیات منفی خاک‌های سدیمی را دارا خواهد شد. درنتیجه برای هر دو خاک شور- سدیمی و سدیمی باید اول توجه خود را به کاهش مقدار یون‌های سدیم قابلِ‌تبادل (Na^+) مبذول داشته، سپس اقدام به آبشویی نمک‌های محلول اضافی کنیم.

تابلو ۲-۱۰ نیاز آبشویی LR

یک زارع باید بداند که چه مقدار آب آبشویی برای جلوگیری از تجمع نمک در یک خاک، و یا در صورت بالابودن قبلی نمک در خاک برای کاهش مقدار آن در خاک لازم است. LR. برای کمک به زارعین برای انجام این ارزیابی ارائه شده است.

LR عبات از آب آبیاری لازم (اضافه بر آن‌چه برای اشباع خاک لازم است) برای آبشویی کافی خاک و تضمین تعادل مناسب نمک برای کشت نبات مورد نظر کرده و مقدار آن به‌طور تقریبی عبارتست از نسبت هدایت الکتریکی آب آبیاری (EC_{iw}) به هدایت الکتریکی زهاب (EC_{dw}) که از نظر نبات مورد نظر قابل‌قبول باشد.

$$LR = EC_{iw} / EC_{dw}$$

به‌عنوان یک مثال، موقعیتی را مورد نظر داشته باشید که در آن EC آب آبیاری (EC_{iw}) ۲/۵ دسی‌زیمنز در متر و EC مورد قبول خاک زه‌کشی ۵/۵ دسی‌زیمنز در متر باشد مقدار آب لازم برای آبشویی عبارتست از

$$LR = {}^{۲/۵}/_{۵/۵} = ۰/۴۵$$

اگر این نسبت در مقدار آب لازم برای مرطوب‌کردن کامل خاک (مثلاً ۸ سانتی‌متر) ضرب شود مقدار آب آبشویی می‌تواند مطابق روش زیر محاسبه گردد:

$$۰/۴۵ \times ۸ = ۳/۶ \text{ cm}$$

این حداقل مقدار آب است که باید از خاک اشباع شده برای تعادل مناسب نمک خاک موردنظر خارج شود. در بعضی موارد ممکن است آبشویی زیادتر برای کاهش غلظت اضافی عناصر خاص مانند بُر لازم باشد.

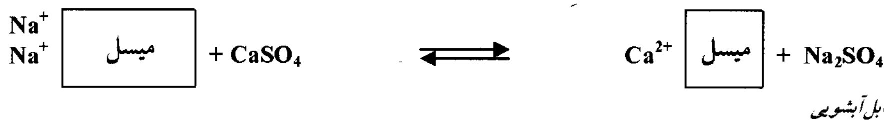
روش‌های جدید اندازه‌گیری هدایت الکتریکی خاک مرطوب (EC_a) با استفاده از ٤ الکترود و یا تجهیزات سنجش از راه دور القای الکترومغناطیسی (فصل ۳-۱۰)، می‌توانند برای نظارت آسان تغییرات شوری خاک حاصل از عملیات آبشویی مورد استفاده قرار گیرند.

گچ[1]

جدا سازی یون‌های Na^+ از همتافت تبادل، با جایگزینی آن‌ها به‌وسیله‌ی یون‌های Ca^{2+} و H^+ مؤثرترین روش می‌باشد. ارائه‌ی Ca^{2+} به‌صورت گچ ($CaSO_4 , 2H_2O$) عملی‌ترین راه برای انجام این تبادل است. وقتی گچ به خاک اضافه می‌شود. واکنش‌هایی همانند زیر صورت می‌گیرد.







توجه داشته باشید در هر مورد نمک محلول Na_2SO_4 تشکیل گردیده که می‌تواند به آسانی از خاک همان‌طورکه در مورد خاک‌های شور گفته شد، آبشویی گردد.

چندین تن گچ در هکتار برای اصلاح خاک‌های سدیمی لازم است. در تابلو ۳-۱۰ محاسباتی به‌طور نظری برای برآورد مقدار گچ لازم برای خارج‌ساختن مقدار قابل‌قبول Na^+ از همتافت جذب انجام شده است. برای تسریع واکنش، خاک باید مرطوب باشد وگچ باید با خاک سطحی به‌طور کامل مخلوط گردیده، و با کولتیواتر با خاک زیر مخلوط گردد. نباید گچ به‌طور ساده در سطح پخش گردیده و با شخم‌زدن برگردانده شود. این عملیات باید با آبشویی کامل خاک با آب آبیاری، به‌منظور آبشویی بیشترین مقدار سولفات سدیم تکمیل گردد.

1- Gypsum

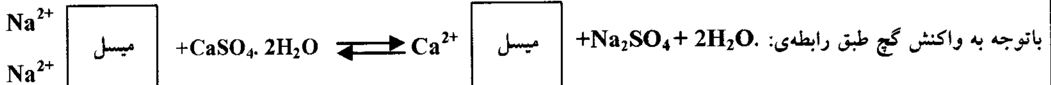
تابلو ۳-۱۰ محاسبه‌ی نظری گچ مورد نیاز

مسأله: چقدر گچ برای اصلاح خاک سدیمی با ESP، ۲۵ و با ظرفیت تبادل کاتیونی ۱۸ سانتی‌مول درکیلوگرم درهکتار لازم است؟ فرض کنید که می‌خواهید ESP ۳۰سانتی‌متری فوقانی را به ۵ درصد برسانید تا نباتی مثل یونجه در آن عمل آید.

حل:

اول- مقدار ین Na^+ که باید جایگزین شود با ضرب‌کردن مقدار CEC (۱۸)در تفاوت درصد اشباع سدیم (۲۰٪=۵ - ۲۵) به‌دست می‌آید ۱۸ Cmol$_C$ ×۰/۲= ۳/۶ Cmol$_c$/Kg

باتوجه به واکنش گچ طبق رابطه‌ی: .



می‌دانیم که Na^+ به‌وسیله‌ی مقدار معادل شیمیایی Ca^{2+} در گچ ($CaSO_4$ و $2H_2O$) جایگزین می‌شود به‌عبارت دیگر،۳/٦ سانتی‌مول $2H_2O$ و $CaSO_4$ برای جایگزینی ۳/٦ سانتی‌مول Na^+ لازم است.

دوم- وزن گچ لازم برای تأمین Cmol ۳/٦ درآن در هر کیلوگرم خاک را محاسبه کنید. این‌کار با تقسیم وزن مولکولی$CaSO_4.2H_2O$ (172) بر ۲ (زیراCa^{2+} دارای ۲ بار و Na^+ فقط دارای یک بار می‌باشد) و سپس تقسیم بر ۱۰۰ به‌دست می‌آید، چون ما با سانتی‌مول سر و کار داریم سانتی‌مول گچ لازم برای جایگزین‌کردن ۱ سانتی‌مول سدیم در هر کیلوگرم خاک بر حسب گرم ۰/۸۶=۱۷۲/۲۰۰ سانتی‌مول و گچ لازم برای جایگزین‌کردن ۳/٦ سانتی‌مول سدیم در هر کیلوگرم خاک بر حسب گرم عبارتست از ۳/۱g = ۳/٦ × ۰/۸٦ می‌باشد.

سوم- میزان وزن هر هکتار خاک با عمق ۳۰ سانتی‌متر با وزن مخصوص ۱۳۳۳ کیلودر هر متر مکعب بر حسب کیلوگرم مطابق زیر به‌دست می‌آید: ۱۰۰۰۰×۳۰/۱۰۰ × ۱۳۳۳ = ۴ ×۱۰^۶

حال مقدار گچ لازم برای این وزن خاک با ضرب آن در عدد ۳/۱ بر حسب گرم به‌دست می‌آید:

گرم ۴ × ۱۰^۶ × ۳/۱ = ۱/۲۴ ×۱۰^۷

که با تقسیم آن بر۱۰^۶ مقدار آهک لازم بر حسب تن به‌دست خواهد آمد:

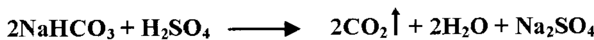
۱/۲۴ × ۱۰^۷ ÷ ۱۰^۶ = ۱۲/۴

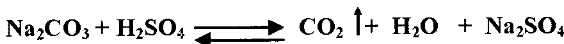
چهارم- به‌دلیل ناخالصی موجود در گچ و عدم کارایی کل فرایند مقدار گچ محاسبه شده باید ۲۰ تا ۳۰ درصد افزایش یابد، بنابراین، مقدار گچ نهایی با ضریب عدد ۱۲/٤ مثلاً در ۱/۲۵ به‌دست بر حسب تن به‌دست می‌آید:

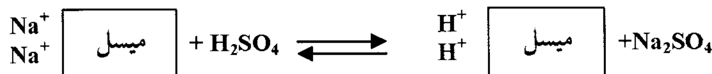
تن ۱۲/۴ × ۱/۲۵ = ۱۵/۵

گوگرد و اسیدسولفوریک

گوگرد عنصری و اسید سولفوریک می‌توانند در اراضی نمکی، به‌خصوص هنگامی‌که بی‌کربنات سدیم به‌مقدار زیاد وجود داشته باشد مورد استفاده قرار گیرند. گوگرد طی اکسایش میکروبی (فصل ٦-۹ و ۲۱-۱۳ را مشاهده کنید) ایجاد اسیدسولفوریک می‌کند که نه‌تنها بی‌کربنات سدیم را به سولفات سدیم کم ضررتر تبدیل می‌کند، بلکه سبب کاهش قلیاییت نیز می‌شود. ممکن است واکنش اسیدسولفوریک با ترکیبات دارای سدیم به‌صورت زیر نشان داده شود:







کربنات و بی‌کربنات سدیم نه تنها به سولفات سدیم، یک نمک کمی خنثی تبدیل می‌شوند، بلکه بنیان کربنات نیز از نظام خارج می‌شود. گرچه وقتی گچ مصرف می‌شود بخشی از کربنات در ترکیب با کلسیم ($CaCO_3$) باقی می‌ماند.

در طرح‌های تحقیقاتی ثابت شده است که گوگرد، و حتی اسیدسولفوریک در اصلاح خاک‌های سدیمی بسیار مؤثر می‌باشند، به‌خصوص اگر مقادیر زیادی از $CaCO_3$ در خاک حضور داشته باشد. هرچند در عمل گچ بسیار گسترده‌تر از مواد اسیدزا مورد استفاده قرار می‌گیرد. گچ کم هزینه‌تر بوده، به‌طور فراوان در طبیعت و در اشکال مختلف تولیدات فرعی صنعتی در دسترس بوده و استعمال آن آسان‌تر است. باید احتیاط لازم را به‌عمل آورد تا مطمئن شویم که گچ به‌خوبی آسیاب گردیده و با افق‌های بالایی خاک‌ها به‌خوبی مخلوط گردیده است تا میزان انحلال و واکنش آن به بیشینه مقدار برسد.

شرایط فیزیکی

اثرات گچ و گوگرد بر شرایط فیزیکی خاک‌های سدیمی شاید چشم‌گیرتر از اثرات شیمیایی آن‌ها باشد. از آنجاکه کلوییدهای خاک‌های سدیمی به‌مقدار زیادی پراکنده شده و خاک از خاکدانه‌های پایدار عاری است، این خاک‌ها به آب باران و آب آبیاری تقریباً غیرقابل‌نفوذ می‌باشد (شکل ۹-۱۰ و جدول ٦-۱۰ را مشاهده کنید). وقتی یون Na^+ قابل‌تبادل به‌وسیله‌ی یون‌های Ca^{2+} و H^+ جایگزین می‌شود، خاکدانه‌سازی و نفوذپذیری بیشتر آب حاصل خواهد شد(شکل۱۵-۱۰ را مشاهده کنید). نمک‌های خنثی سدیم (مثلاً Na_2SO_4) تشکیل شده در جریان تبادل می‌توانند بعداً براثر آبشویی از خاک بیرون رفته، و بنابراین سبب کاهش هم شوری و هم قلیاییت گردند.

جدول ٦-۱۰ درجه‌ی خاکدانه‌سازی دو خاک الفی‌سول (زرالف) مبتلا به نمک بعد از خیس‌کردن مکرر (۸ بار) با محلول‌های دارای مقادیر مختلف سدیم و کلسیم با تیمارهای سدیم اثر آب آبیاری دارای SAR بالا را تشدید نمود. اثرات افزایش گچ به‌وسیله‌ی تیمارهای Ca تقویت گردید. توجه کنید در هر مورد تیمارهای سدیم خاکدانه‌سازی را کاهش داده و تیمارهای کلسیم آنرا افزایش داد.

خاک	اندازه‌ی خاک (میکرون)	اصلی ٪	تیمار سدیم ٪	تیمار کلسیم ٪
Farrel	> ۵۰	۵/۱	۳/۱	۹/۹
	۲۰ - ۵۰	۱۲/۸	۲/۱	۱۸/۰
Tarlee	> ۵۰	۱۵/۶	۰/۰	۳۴/۱
	۲۰ - ۵۰	۱۱/۲	۵/۴	۴۲/۰

اثرات اصلاحی گچ و یا گوگرد با کشت نباتات در این خاک‌ها تشدید می‌شود. نباتات مانند چغندر قند، پنبه، جو، ذرت خوشه‌ای، شبدر، برسیم و یا چاودار که تا حدی دارای مقاومت در برابر خاک‌های شور و سدیمی می‌باشند، باید ابتدا کشت شوند. ریشه‌ی آن‌ها مسیرهایی ایجاد می‌کند که گچ می‌تواند از طریق آن‌ها به پایین خاک حرکت کند. محصولات ژرف ریشه مانند یونجه که به‌خصوص در بهبود هدایت آبی خاک‌های سدیمی تیمار شده با گچ مؤثر می‌باشند. شکل ۱۱-۱۰ اثر اصلاحی مشترک گچ و نبات ژرف ریشه را تشریح می‌کند.
بعضی از تحقیقات مطرح می‌کنند که پلی‌مرهای مصنوعی تثبیت‌کننده خاکدانه‌ها ممکن‌است حداقل به‌طور موقت در افزایش ظرفیت نفوذ خاک‌های سدیمی تیمارشده با گچ مؤثر باشند. اطلاعات جدول ۷-۱۰ در یک آزمایش بیانگر توان احتمالی این مواد اصلاح‌کننده می‌باشد.

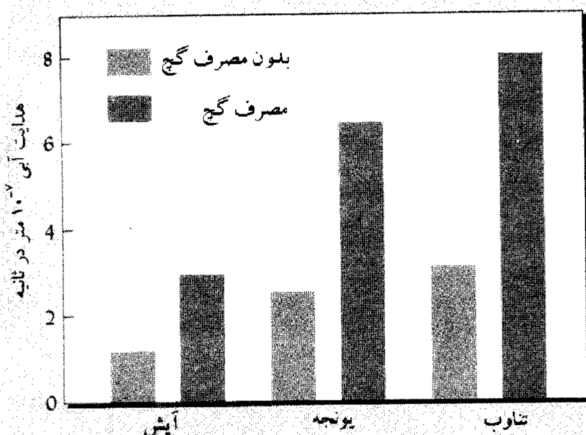
جدول۷-۱۰ استفاده از گچ و پلی‌مرهای مصنوعی در اصلاح خاک‌های سدیمی

(اضافه‌کردن گچ به نمونه‌های دارای بافت ریز (رس) شور – سدیمی در رده‌ی مولی‌سول در ایالت کالیفرنیا، ضمن کاهش درصد سدیم قابل‌تبادل (ESP) سبب افزایش هم هدایت آبی و هم مقدار نمک‌های آبشویی‌شده در آزمایش گردید. اضافه‌کردن دو پلی‌مر مصنوعی(T4141 و ۲۱J) همراه گچ، سبب افزایش بیشتر آب‌گذری و مقدار نمک‌های آبشویی شده گردید.

تیمار	خصوصیت اندازه‌گیری شده					
	هدایت آبی میلیمتر در ساعت		کل نمک‌های آبشویی شده، میلی گرم در کیلوگرم		ESP(درصد)	
اضافه‌کردن گچ	خیر	بلی	خیر	بلی	خیر	بلی
بدون پلی‌مر	۰	۰/۰٦	۰	٤/۷	۲۲/۹	۹/٦
با T4141	۰	۰/۲۸	۰	۱۰/۱	۲۵/٤	۹/٦
با 21J	۰	۰/۲۸	۰	۹/۷	۲۵/۵	۹/٦

زمان انجام آبیاری

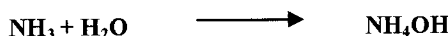
زمان انجام آبیاری در خاک‌های نمک‌دار، به‌خصوص در طول فصل کشت در بهار، فوق‌العاده مهم می‌باشد. زیرا بوته‌های جوان به‌خصوص به شوری خاک حساس می‌باشند. آبیاری معمولاً قبل و یا بعد از کشت، برای انتقال نمک‌ها از منطقه ریشه گیاهان به پایین انجام می‌شود (شکل ۱۴-۱۰ را مشاهده کنید). پس از استقرار خوب نباتات، مقاومت آن‌ها به نمک مقداری بالاتر است.



شکل ۱۵-۱۰ تأثیر گچ وکشت نباتات در هدایت آبی ۲۰ سانتی‌متر فوقانی یک خاک شور- سدیمی (ناتراستالف[1])در پاکستان. استفاده از گچ برای افزایش آبگذری در تمام کرت‌هایی که یونجه با ریشه عمیق و تناوب گندم-سزبینا قرار داشت مؤثرتر بود

اثرات آمونیاک

روش اضافه‌کردن نیتروژن به‌صورت آمونیاک بدون‌آب[2] (NH_3) به آب هنگام آبیاری در مزرعه سبب ایجاد مسائلی در خاک می‌شود. NH_3 با آب آبیاری وارد واکنش شده و تولید NH_4OH می‌کند.



$$NH_3 + H_2O \longrightarrow NH_4OH$$

pH بالای ایجاد شده براثر این واکنش ته‌نشینی کربنات‌های کلسیم و منیزیم را سبب می‌شود.



$$Ca(HCO_3)_2 + 2NH_4OH \longrightarrow CaCO_3\downarrow + (NH_4)_2CO_3 + H_2O$$



$$Mg(HCO_3)_2 + 2NH_4OH \longrightarrow MgCO_3\downarrow + (NH_4)_2CO_3 + 2H_2O$$

این جداسازی یون‌های Ca^{2+} و Mg^{2+} از آب آبیاری سبب بالارفتن SAR وخطر افزایش ESP می‌شود. برای مقابله با این مشکلات، بعضی اوقات برای پایین‌آوردن pH آب آبیاری و همچنین خاک، اسیدسولفوریک به آب آبیاری اضافه می‌گردد. این عملیات در مناطقی که منابع موجود اسیدسولفوریک دارای توجیه اقتصادی بوده و افراد متخصص و آگاه بر خطرات مصرف این اسید قوی وجود داشته باشند. قابل تعمیم است.

۱۱-۱۰ مدیریت خاک‌های اصلاح‌شده

پس از اصلاح شوری بایستی اقدامات مدیریتی محتاطانه‌ای را برای اطمینان از باقی‌ماندن توان تولیدی آن‌ها به‌عمل آورد. برای مثال، نظارت بر EC وSAR و دیگر خصوصیات شیمیایی مربوط به آب آبیاری اساسی است. اقدامات مدیریتی برای تطابق با هر نوع تغییر در کیفیت آب آبیاری، که می‌تواند در خاک مؤثر باشد لازم است. تعداد و زمان عملیات آبیاری می‌تواند در تعیین تبادل نمک‌های وارده و خارج شده از خاک کمک کند به‌همین‌ترتیب، نگهداری زه‌کشی داخلی خوب برای خارج ساختن نمک‌های اضافی اساسی می‌باشد.

برای نظارت بر خصوصیات شیمیایی شاخص خاک، مانند SAR، EC، pH و هم چنین میزان عناصری خاص مانند بُر، مولیبدن و سلنیم، که می‌توانند منجر به سمّیت شیمیایی گردند باید قدم‌هایی برداشته شوند. این اندازه‌گیری‌ها در تعیین نیاز به عملیات اصلاحی بعدی و یا مواد شیمیایی به ما کمک می‌کنند.

[1] - Natrustalfs
[2] - Anhydrous ammonia

مدیریت محصول و حاصل‌خیزی خاک، برای حفظ میزان عملکرد رضایت‌بخش و پایداری کیفیت کلی خاک‌های نمک‌دار اساسی می‌باشد. پس‌ماندهای گیاهی (ریشه‌ها، و ساقه‌های بالای زمین) سبب حفظ ماده‌ی آلی و شرایط فیزیکی خوبی در خاک می‌گردد. برای حفظ عملکرد بالا باید بر کمبودهای فسفر و عناصر کم‌مصرف که مختص دیگر خاک‌های دارای pH بالاست، با استفاده از منابع آلی و معدنی مناسب غلبه کرد.

۱۲-۱۰ نتیجه‌گیری نهایی

خاک‌های قلیایی و خاک‌های مبتلا به نمک دارای گسترش زیادی در جهان می‌باشد. این خاک‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، که بیشتر از نصف اراضی قابل‌کشاورزی در آن‌ها یافت می‌شوند، غالب می‌باشند. این خاک‌ها به‌طور وسیعی برای مرتع و زراعت دیم مورد استفاده می‌باشند. در صورت آبیاری، این خاک‌ها می‌توانند در بین پرتولیدترین خاک‌های جهان قرار گیرند.

باید بر کمبود بعضی از عناصر کم مصرف اساسی (مانند Fe و Mn) و عناصر پرمصرف (مانند فسفر) در خاک‌های قلیایی، و همچنین سمیت مولیبدن غالب آییم. از آن‌جاکه مقدار pH این خاک‌ها بالاست عملیات مدیریتی که در این خاک‌ها اعمال می‌شود با خاک‌های مناطق اسیدی کاملاً متفاوتست.

سه کلاس از خاک‌های مبتلا به نمک وجود دارد که عبارتند از ۱)خاک‌های شور: که در آن‌ها نمک‌های خنثی غالب بوده (هدایت الکتریکی عصاره‌ی اشباعی ٤ دسی‌زیمنز در متر و پایین‌تر است) و pH از ۸/۵ کمتر می‌باشد، ۲) خاک‌های شور- سدیمی: که از نظر مقدار نمک و pH مشابه کلاس (۱) بوده امّا درصد سدیم قابل‌تعویض آن (ESP)۱۵ درصد و بالاتر می‌باشد و۳)،خاک‌های سدیمی: سدیم قابل‌تعویض در این خاک‌ها نیز از ۱۵ درصد بالاتر است، امّا غلظت نمک‌های محلول آن‌ها نسبتاً پایین (Ec<٤dS/m) و pH آن‌ها از ۸/۵ بالاتر می‌باشد.

شرایط فیزیکی خاک‌های شور و خاک‌های شور – سدیمی برای رشد نبات رضایت‌بخش است، امّا کلوییدها در خاک‌های سدیمی عمدتاً پراکنده بوده، خاک گلخراب و میزان نفوذ آب در آن‌ها بی‌نهایت کند است.

اصلاح خاک‌های شور، شور – سدیمی و سدیمی نیازمند دو اقدام عمده است: (۱) حذف نمک‌های اضافی محلول در بخش‌های فوقانی خاکرخ و (۲) حذف یون‌های قابل‌تبادل سدیم، ابتدا از همتافت جذب با جایگزین‌کردن یون Na^+ به‌وسیله‌ی یون Ca^{2+} و یا یون H^+ و سپس از محلول خاک با آبشویی Na^+ جایگزین شده می‌باشد. گچ ($CaSO_4$ و $2H_2O$) و گوگرد عنصری (S) موادی هستند که می‌توانند یون‌های مورد نیاز Ca^{2+} و H^+ مورد نیاز اصلاح را فراهم کنند. نظارت بر میزان مواد شیمیایی آب آبیاری و خاک برای دست‌یابی به هدف جایگزینی یون‌های Na^+ در همتافت جذب و نهایتاً حذف آن از خاک، امری اساسی می‌باشد.

سووالات برای مطالعه

۱ منابع اولیه قلیاییت در خاک‌ها چه می‌باشد؟توضیح دهید.

۲- قابلیت استفاده عناصر اساسی زیر را در خاک‌های قلیایی با خاک‌های اسیدی مقایسه کنید:

(۱) آهن (۲) ازت (۳) مولیبدن (٤) فسفر

۳- تجزیه‌ی آهن در یک منطقه خشک نشان‌دهنده فراوانی این عنصر بود، ولی درخت هلو که در این منطقه کشت شده بود علایم شدید کمبود آهن را نشان می‌دارد توضیح چیست؟

٤- خاکی که دارای مقادیر زیاد $CaCO_3$ است ممکن است pH بالاتر از ۸/۳ را نداشته باشد، درحالی‌که خاک مجاور با میزان Na_2CO_3 بالا دارای pH ۱۰/۵ است. دلیل اصلی این اختلاف چیست؟

۵- خاک یک منطقه خشک، که اول بار برای کشت‌وکار آباد شد، دارای pH حدود ۸ بود. بعد از چند سال آبیاری، محصول شروع به کاهش نمود، خاکدانه‌ها تخریب شدند و pH به حدود۱۰ رسید. توضیح احتمالی که برای این موقعیت به‌نظر می‌رسد چیست؟

٦- چه تیمارهای فیزیکی و شیمیایی برای بازگرداندن خاک مورد نظر در سؤوال ۵ به توان تولید اولّیه آن پیشنهاد می‌کنید؟

۷- پیامدهای نامناسب استفاده از اراضی ماندابی برای جمع‌آوری پساب آبیاری چه می‌باشد؟

۸- نیاز آبشویی را برای جلوگیری از تجمع نمک در ٤۵ سانتی‌متری فوقانی یک خاک را درصورتی‌که EC_{dw} ٦ دسی‌زیمنز در متر و EC_{iw} ۱/۲ دسی‌زیمنز در متر باشد محاسبه کنید.

۹- مزایای استفاده از گچ ($CaSO_4.2H_2O$) دراصلاح یک خاک سدیمی چیست؟ واکنش‌های شیمیایی را که صورت می‌گیرد بنویسید.

۱۰- مقدار گچ لازم برای اصلاح یک خاک سدیمی با ESP=٪۳۰ وقتی CEC مساوی ۲۵ سانتی‌مول در کیلوگرم و pH معادل ۱۰/۲ است محاسبه کنید. فرض کنید شما ESP بیشتر از ٤ درصد را لازم ندارید.

در سکوت و در آروارههای شیمیایی بیامان قارچهـا،
خس و خاشاک جنگل بهسرعت ناپدید میگردد.
فورسیت و میانا در سرشت گرمسیری

فصل ۱۱

موجودات زنده و بومشناسی خاک

واژههای بومسامان[1] و بومشناسی[2] معمولاً مناظر شیرهای در کمین گلههای بـزرگ چهارپایـان وحشـی در علـفزارهـای سـاوانا در آفریقای شرقی، و یا تأثیرات متقابل فیتوپلانکتون، ماهی و مرد ماهیگیر را در دهانه یک شارگاه به ذهن متبادر میسازد. همانند ساوانا و یا شارگاه، خاک نیز یک بومسامان است که در آن هزاران موجود مختلف در تعامل بوده و در چرخههای جهانی، که کـل حیـات را ممکـن میسازند، شرکت دارند. این فصل بعضی از موجودات را در حماسهی زندگی که پنهان در خاک زیر پای ما تداوم دارد، معرفی میکنـد. اگر بدن ما چنان کوچک بود که میتوانست از گذرگاههای باریک خاک عبور کند، میتوانستیم به کشف جهانی پرازدحام از تعداد کثیری موجودات زنده که برای هر برگی که به روی جنگل فرو میافتد، هر ریشهای که از علف درحال رشد جدا میشود، هر ذره فضولات و هر جسم زندهای که به خاک میرسد در رقابت ددمنشانه میباشند، موفق شویم. ما همچنین میتوانستیم شکارچیهایی را از هر نوع پیدا کنیم که بعضی مخفیانه در تاریکی با آروارههای مخوف در حال قاپیدن قربانیان بیخیال خود بوده و بعضی دیگر با بدن ژلاتینی خود بهسادگی شکارهای میکروسکوپی خود را دربرگرفته و مشغول هضم باشند.

بیشتر کار در جوامع خاک بهوسیلهی موجوداتی به انجام میرسد که آروارههای آنها همانا آنزیمهای شیمیایی بوده کـه بـا خـوردن تمام مواد آلی باقیمانده از سایر همسایگان با شیوههای مختلف آنها را معدوم میکنند. تنوع مواد تحت تأثیر و شرایط محیطی که در یک مشت خاک یافت میشود چنان تنوعی از موجودات تطابقیافته را شامل میباشد که به تصور در نمیآیند. مجموعهی زنده مـانی، تنـوع و تعادل در بین این موجودات سبب ایجاد یک بومسامان سالم گردیده و ایفای نقش خاک را با کیفیت بالا ممکن میسازد.

ما خواهیم آموخت که چگونه این جوامع جانوری[3] و گیاهی[4] خاک با همدیگر در تعامل بوده، چه میخورند، چگونـه بـر خـاک اثـر گذاشته، و شرایط خاک چگونه بر آنها اثرگذار است. موضوع اصلی این است که این جامعه موجودات زنده چگونه پسماندهای گیاهی و جانوری را هضم، هموس خاک را ایجاد، کربن و عناصر غذایی را بازچرخ و رشد گیاهان را تضمین خواهند کرد. ما بیشتر بر فعالیت این موجودات بهجای طبقهبندی علمی آنها تاکید خواهیم داشت. بنابراین، فقط دستهبندیهای ساده کلی مورد لحاظ قرار خواهند گرفت.

۱-۱۱ تنوع جانداران خاک

جانداران خاک موجوداتی هستند که بخشی ویا تمام زندگی خود را در محیط خاک سپری میکنند. هر مشت خـاک احتمـالاً شـامل میلیاردها جانداران شاخص از تمام شاخههای حیات میباشند. طبقهبندی ساده عمومی این جانداران در شکل ۱-۱۱ آمده است.

اندازه موجودات خاک: حیوانات (فون) خاک از درشتجانوران یا ماکروفون[5] (مانند موش صـحرایی[6] – سـگ مـرغزار[7] کـرمهـای خاکی و هزارپایان)،جانوران متوسط (مانند دمفنریهای نخی[8] و کنهها) و یا ریزجانوران (مانند نماتودها و تکیاختهگان)متفاوت میباشند.

---

[1]-Ecosystem
[2]-Ecology
[3]-Fauna
[4]-Flora
[5]-Macrofauna
[6]-Moles
[7]-Prairie dog
[8]-Springtail

گیاهان (فلور)[1] خاک ریشه‌ی گیاهان عالی، جلبک‌های میکروسکوپی و دیاتومه‌ها را شامل می‌شوند. سایر گیاهان (بسیار کوچک‌تر از آن‌چه بدون میکروسکوپ بتوانند مشاهده شوند) شامل قارچ‌ها، باکتری‌ها و اکتینومیست‌ها می‌باشند که تمایل دارند از نظر تعداد، جرم و ظرفیت زیستی در خاک غالب شوند.

توجه کنید که ما جانداران خاک را بر حسب اندازه‌ی آن‌ها (ماکرو درشت‌تر از ۲ میلی‌متر، مزو بین۰/۲ تا ۲ میلی‌متر و میکرو کمتر از ۰/۲ میلی‌متر) و همین‌طور فعالیت‌های زیست‌بومی آن‌ها (چه می‌خورند) طبقه‌بندی کرده‌ایم. یک خاک شاخص سالم ممکن است دارای گونه‌های مختلفی از مهره‌داران (موش، موش نقب‌زن، مار) نیم دو جین از گونه‌های کرم خاکی، ۲۰ تا ۳۰ گونه کنه ۵۰ تا ۱۰۰ حشره (دم‌فنری‌ها، سوسک)و چند دو جین گونه‌های نماتود، صدها گونه قارچ، و احتمالاً هزاران گونه باکتری و اکتینومیست باشد.

انواع تنوع: در یک خاک به‌خاطر انواع غذاهای نامحدود و زیستگاه‌های بسیار، تنوع وجود دارد. در داخل یک مشت خاک ممکن است مناطق دارای تهویه، فاقد تهویه، دارای شرایط اسیدی و یا فاقد آن، دمای بالا، شرایط مرطوب و خشک و تمرکز محلی عناصر محلول، مواد آلی و جاندارن رقیب وجود داشته باشد، جانداران خاک به‌جای این‌که به‌طور یکنواخت درکل خاک توزیع یابند، در مناطقی تمرکز یافته‌اند که شرایط مناسب وجود دارد.

بوم‌شناسان محیط‌های آبی از مدت‌ها قبل دریافته‌اند که جوامع متنوعی از جانداران آبی معرف کیفیت آب می‌باشند. به همین ترتیب، دانشمندان خاک اکنون فرضیه‌ی تنوع زیستی را به‌عنوان شاخص کیفیت خاک به‌کار می‌برند. تنوع گونه‌ای غنی، بیانگر توزیع نسبتاً یکنواخت جانداران موجود در داخل گونه‌های زیاد می‌باشد این پیچیدگی و تنوع گونه‌ای[2] همراه با تنوع گسترده‌ی وظایف[3] زیستی است که بیانگر استفاده از مواد و غذاهای متنوع و اجرای یک سلسله از فرایندها می‌باشد.

پویایی بوم‌سامان: در اکثر بوم‌سامان‌های خاکی سالم، گونه‌های متنوع و در مواردی گونه‌های فراوان و متفاوتی قادر هستند که هزاران فرایند مختلف آنزیمی و فیزیکی را هر روز به انجام رسانند.این تکرار وظایف[4] بیانگر حضور جانداران متعدد برای انجام وظایف مختلف است که سبب پایداری[5] و انعطاف[6] بوم‌سامان می‌باشد. پایداری خاک بیانگر توانایی خاک برای تداوم وظایفی مانند چرخه‌ی عناصر، هضم پس‌مانده‌های آلی و حفظ ساختمان خاک، حتی در صورت مواجهه با شرایط گسترده محیطی و نهاده‌ها می‌باشد. انعطاف، توانایی خاک را برای برگشت جهت انجام وظایف خود به‌طور سالم پس از به‌هم‌خوردن فرایندهای عادی تشریح می‌کند.در تنوعی بسیار زیاد، یک جاندار به تنهایی غالب نمی‌باشد، و با همین فرض، نابودی هر گونه تمام نظام را فلج نمی‌کند. با این حال برای فرایندهای خاص خاک مانند اکسایش آمونیوم (بخش ۷-۱۳) و یا ایجاد منافذ درشت تهویه (بخش ٦-٤)، مسوولیت اصلی ممکن است به عهده‌ی یک یا دو گونه خاص باشد. فعالیت و فراوانی این گونه‌ها، سنگ کلیدی (مثلا باکتری‌های خاص نیترات‌کننده و یا کرم‌های خاکی حفار) نیازمند توجهی خاص است، زیرا جمعیت آن‌ها ممکن است بیانگر سلامت بوم‌سامان خاک باشد.

منابع توارثی: تنوع جانداران در خاک علاوه بر دلایل حفاظت از وظایف بوم‌زیستی دارای اهمیت است. خاک‌ها یاری زیادی به تنوع زیستی جهانی می‌کنند. بسیاری از دانشمندان اعتقاد دارند که گونه‌های بیشتری در زیر سطح خاک درمقایسه با سطح خاک وجود دارند. خاک‌ها بنابراین منبع مهمی از نوآوری‌های توارثی هستند که طبیعت آنرا در رمز DNA صدها میلیون سال قبل نوشته است. بشر همیشه راه‌هایی برای استفاده از بعضی مواد توارثی موجود در داخل جانداران خاک یافته است (آب‌جو، ماست و آنتی‌بیوتیک نمونه‌هایی از آن هستند). هرچند با پیشرفت‌های اخیر در مهندسی زیستی، که امکان انتقال مواد توارثی را از یک نوع جاندار به نوع دیگر فراهم ساخته است، بانک ذخیره‌ی DNA خاک اهمیت عملی بسیار زیادی برای آسایش انسان پیدا کرده است. ژن‌های جانداران خاک ممکن است برای تولید گیاهان و حیواناتی که دارای مزایای بالایی برای جوامع انسانی می‌باشند مورد استفاده قرار گیرند.

1-Mesofauna
2-Species diversity
3-Functional diversity
4-Functional redundancy
5-Stability
6-Resilience

حیوانات(فن)-همگی غیرخودپرور[1]	
بزرگ جانوران[2] :گیاهان عمدتاً گیاه‌خواران و ریزه‌خواران مهره‌داران[3]: موش آمریکایی، موش صحرا، سنجاب بندپایان[4] : مورچه‌ها، سوسک‌ها و نوزاد آن‌ها، کرم حشرات، موریانه‌ها، عنکبوت‌ها، هزارپایان و شپش چوب کرم‌های بندبند[5] :کرم‌های خاکی نرم‌تنان[6] :حلزون‌ها، راب‌ها **شکارچیان** مهره‌داران: موش کور و مارها بندپایان: سوسک‌ها، مورچه‌ها و صدپایان[7]	
جانوران متوسط[8]: عمدتاً ریزه‌خواران بندپایان: کنه‌ها، کولمبلا (دم‌فنری‌ها) کرم‌های بندبند: کرم‌های برجسته[9] **شکارچیان بزرگ** بندپایان: کنه‌ها و پروتورا	
ریزجانوران: ریزه‌خواران – شکارچیان، قارچ خواران و باکتری خواران نماتدها: نماتد روتریفرا[10] : روتریفر، خرس آبی[11]• تک‌یاخته‌ها: آمیب و مژه‌داران•	
گیاهان (فلور)	
بزرگ گیاهان عمدتاً خودپرور گیاهان آوندی[12] : ریشه‌های تغذیه‌کننده خزه‌ها[13] : خزه	
ریزگیاهان، عمدتاً خودپرور[14] گیاهان آوندی: ریشه‌های مویین جلبک‌ها: – سبز، زرد سبز، و دیاتومه‌ها **عمدتاً غیرخودپرور – هوازی** قارچ‌ها: مخمرها، کپک‌ها، کپک قارچ، زنگ‌ها و قارچ‌های خوراکی اکتینومیست‌ها ☺ : بسیاری از انواع اکتینومیست‌ها **خودپرورها، غیرخودپرورها** باکتری‌ها ☺: هوازی و غیرهوازی جلبک باکتری‌ها ☺: جلبک‌های سبز- آبی	

• در بعضی طبقه‌بندی این جانوران به‌جای Animalia در سلسله Prostista طبقه‌بندی شده‌اند ☺ این گیاهان، هم در سلسله Monera طبقه‌بندی شده‌اند.

شکل ۱-۱۱ طبقه‌بندی کلی بعضی از گروه‌های مهم موجودات زنده خاک، بعضی از جانداران از گیاهان زنده‌ی (علف‌خواران) تغذیه می‌کنند. بقیه برروی بقایای مرده گیاهان(ریزه‌خواران)زندگی می‌کنند. بعضی از حیوانات استفاده می‌کنند (شکارچی‌ها)، بعضی قارچ‌ها را می‌خورند (قارچ‌خـواران) و بعضـی باکتری‌ها (باکتری‌خواران)، بعضی از موجودات زنده تغذیه می‌کنند (انگل). موجودات غیرخودپرور متکی به ترکیبات آلی برای نیازهای کـربن و انـرژی خود می‌باشند درحالی‌که خودپرورها کربن خود را عمدتاً از گازکربنیک و انرژی خود را از فتوسنتز و یا اکسایش عناصر به‌دست می‌آورند.

1-Heterotroph
2-Macrofauna
3-Vertebrates
4-Arthropods
5-Annelida
6-Mollusca
7-Centipeds
8-Mesofauna
9-Enchytraeid (pot) worms
10 -Rotifera
11-Water bears
12- Vascular
13-Bryophytes
14-Autotroph

۲-۱۱ جانداران در فعالیت

فعالیت جانوران و گیاهان خاک در ارتباط تنگاتنگ با آن‌چه بوم‌شناسان از آن به‌نام یک زنجیره‌ی غذایی[1] و یا به‌عبارت درست‌تر یک شبکه‌ی غذایی[2] یاد می‌کنند می‌باشد. بعضی از این روابط که در شکل ۲-۱۱ نشان داده شده‌اند، تشریح می‌کند که چگونه جانداران مختلف خاک در تجزیه بقایای گیاهان عالی دخالت دارند.

تولیدکنندگان اولیه[3]

همانند تمام بوم‌سامان‌ها، گیاهان نقش تولیدکنندگان اولیه را با استفاده از انرژی آفتاب، آب و کربن گازکربنیک نیوار برای ایجاد مولکول‌های آلی و اندام‌های زنده ایفا می‌کنند. این مواد آلی و انرژی موجود در آن سپس به‌وسیله‌ی سایر جانداران به‌طور مستقیم، و یا چه به‌وسیله‌ی میانجی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

گیاه‌خواران[4] و ریزه‌خواران[5]: جانداران ویژه‌ای در خاک از گیاهان زنده تغذیه کرده و گیاه‌خوار نامیده می‌شوند. نمونه آن‌ها نماتودهای انگل و نوزاد حشرات می‌باشند که به ریشه گیاهان حمله کرده و همچنین موریانه‌ها، مورچه‌ها و نوزاد سوسک‌ها، موش چوب آمریکایی و موش می‌باشند که بخش‌هایی از نبات را در سطح خاک حریصانه می‌بلعند. چون آن‌ها به گیاهان زنده که ممکن است برای انسان ارزشمند باشد حمله می‌کنند بسیاری از این گیاه‌خواران آفت خاک تلقی می‌شوند. برای بخش وسیعی از خاکزیان گرچه منبع اصلی غذای آنان، پس‌ماندهای بافت‌های مرده به‌جای گذاشته گیاهان و جانوران می‌باشد، این بقایا خرده‌ریزها، و حیواناتی که مستقیما از آن‌ها تغذیه می‌کنند ریزه‌خواران نامیده می‌شوند.

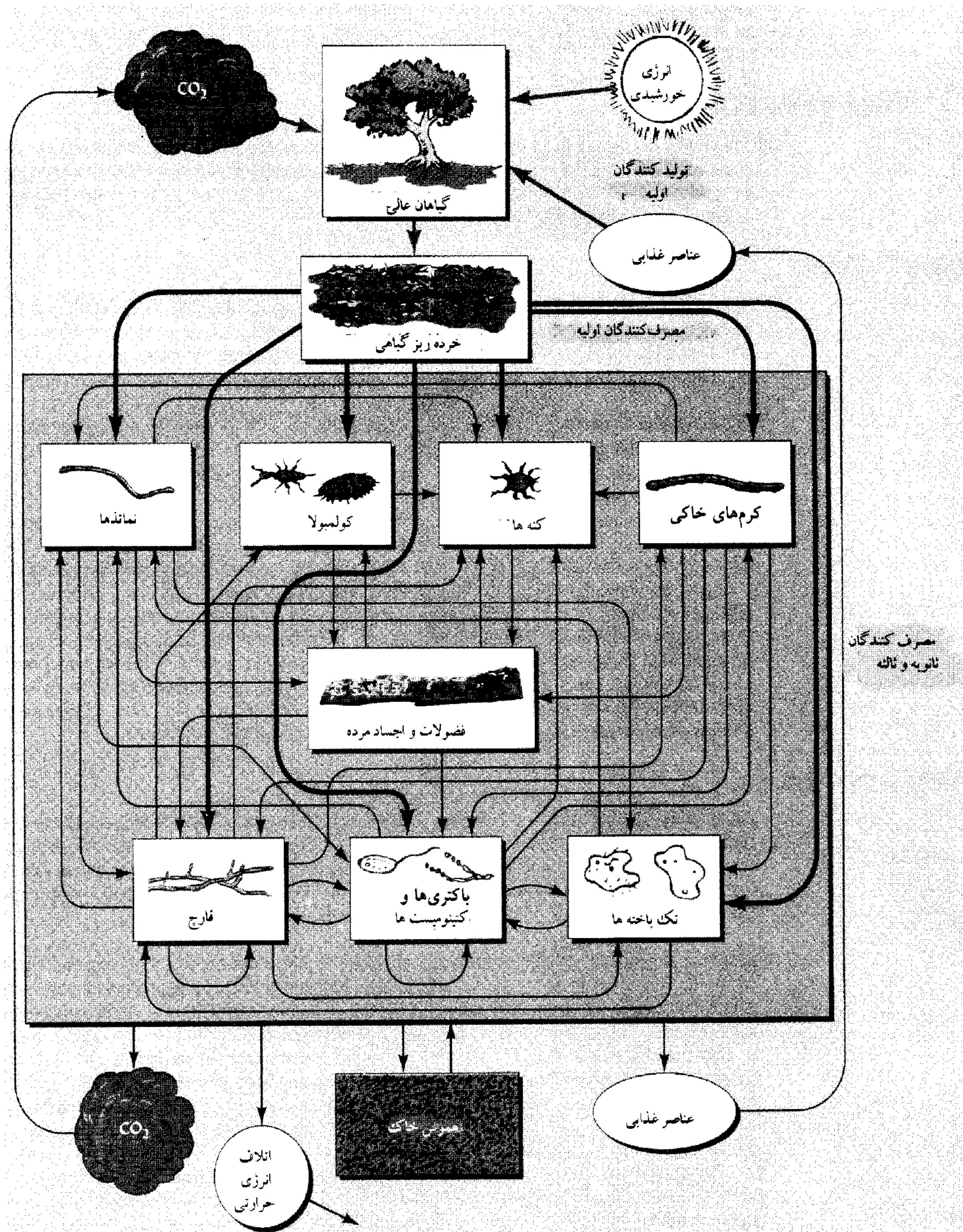
پس‌ماندهای گیاهی و حیوانی مداوماً در داخل و روی خاک به‌جا گذاشته می‌شوند این مواد آلی در جنگل‌های خزان‌کننده، مخصوصاً وقتی گیاهان برگ خود را در آخر فصل رشد بر روی زمین می‌ریزند، بسیار فراوان است. هر پاییز خاک در مناطق معتدل با این برگ‌ها تا عمق ۱۵ سانتی‌متر و بیشتر پوشیده می‌شود. با این وصف در تابستان بعدی به نظر می‌رسد که بسیاری از این پس‌ماندها ناپدید شده و در سطح خاک ممکن است فقط نشانه‌ی کوچکی از حجم موادی که در پاییز سال قبل تجمع یافته بود به‌جای مانده است. هضم این حجم از پس‌ماندهای گیاهی و جانوری برای جانداران کوچک و درشت خاک یک نقش اساسی به‌شمار می‌آید.

مصرف‌کنندگان اولیه[6]

به‌محض آن‌که یک شاخه، یک برگ و یا یک قطعه از پوست درخت بر روی زمین می‌افتد، در معرض تهاجم هماهنگ ریزگیاهان و ریزه‌خواران که بر روی بافت‌های مرده درحال تجزیه نباتات زندگی می‌کنند، قرار می‌گیرد (شکل ۲-۱۱). این حیوانات که کنه‌ها، شپش چوب و کرم‌های خاکی را شامل می‌شوند، بافت‌ها را جویده و یا سبب پارگی و ایجاد سوراخ و توسعه آن برای حمله سریع‌تر ریزگیاهان می‌شوند. حیوانات و ریزگیاهان که انرژی ذخیره شده در پس‌ماندهای گیاهی را مورد استفاده قرار می‌دهند به مصرف‌کنندگان اولیه مشهور می‌باشند.

عمل جانوران خاک: درحالی‌که فعالیت ریزگیاهان عمدتاً شیمیایی است فعالیت جانوران خاک هم فیزیکی و هم شیمیایی می‌باشد جانوران متوسط[7] و بزرگ[8] پس‌ماندهای گیاهی را جویده و آن‌ها را از یک محل به محل دیگر، روی زمین و یا حتی در داخل خاک جابه‌جا می‌کنند. جعل چرخش مواد غذایی را با دفن‌کردن کود دامی در راهروهای زیرزمینی که در افق‌های بالای خاک حفر می‌کنند، تشدید می‌کند. کرم‌های خاکی ضمن مخلوط‌کردن پس‌ماندهای گیاهی و خاک معدنی در هنگام عبوردادن آن‌ها از داخل بدن خود در واقع راه خود را در داخل خاک می‌بلعند. حیوانات بزرگ مانند موش آمریکایی موش کور، سگ مرغزار و موش خرما نیز در خاک حفاری کرده و سبب مخلوط شدن و خاکدانه‌سازی قابل‌توجه می‌شوند.

1-Food web
2-Food chain
3-Primary producers
4-Herbivores
5-Detrivores
6-Primary Consumers
7-Mesofauna
8-Macrofauna

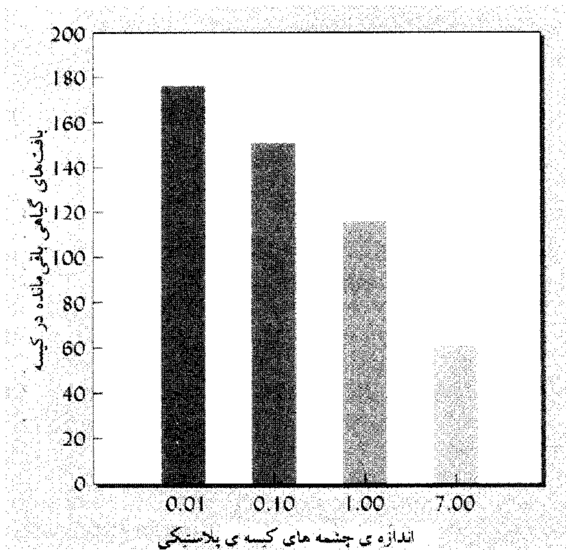


شکل ۲-۱۱ نمودار خیلی ساده‌شده‌ی شبکه‌ی غذایی در تجزیه‌ی بافت گیاهان عالی. محفظه‌ها معرف گروه‌های بزرگ جانداران و منابع آلی بوده درصورتی‌که پیکان‌ها معرف جابه‌جایی کربن، انرژی و عناصر غذایی در بین این منابع می‌باشد. گیاهان عالی به‌دلیل این که گاز کربنیک و انرژی جذب می‌کنند، تولیدکنندگان اولیه نامیده می‌شوند. پیکانهای ضخیم از پس‌ماندهای گیاهی(خرده‌ریزها)به گروه‌های جانداران معرف مصرف‌کنندگان اولیه می‌باشند. پیکان‌ها در داخل محفظه بزرگ معرف مصرف‌کنندگان ثانویه و ثالث می‌باشند. گرچه تمام گروه‌های نشان داده شده نقش مهمی در فرایند ایفا می‌کنند، ریزجانداران خاک که به وسیله سه محفظه پایین در شکل نشان داده شده‌اند. ۹۰-۸۰ درصد فعالیت سوخت‌وساز را به‌عهده دارند، در نتیجه‌ی این سوخت‌وساز هموس خاک بازسازی شده و گازکربنیک و انرژی حرارتی عناصر غذایی معدنی در داخل محیط خاک آزاد می‌شوند.

عمل این حیوانات سبب افزایش فعالیت ریزگیاهان از چند طریق می‌شود. اول عمل جویدن سبب قطعه‌قطعه‌شدن لاشبرگ، بریده‌شدن پوشش مقاوم مومی از روی بسیاری از برگ‌ها و ظاهرشدن محتویات یاخته‌ای دارای قابلیت تجزیه‌ی آسان می‌گردد. دوم بافت‌های گیاهی جویده شده به‌وسیله‌ی ریزجانداران موجود در شکنبه‌ی حیوانات که شرایط برای فعالیت میکروبی در آن آرمانی است، به‌طور کامل مخلوط می‌شود. سوم حیوانات متحرک، ریزجانداران را با خود حمل و سبب توزیع آن و پیداکردن منابع جدید غذا برای تجزیه‌کردن می‌شود. توانایی این جانوران در افزایش تجزیه‌ی پس‌ماندهای گیاهی درشکل ۳-۱۱ تشریح شده است.

مصرف‌کنندگان ثانویه

اندام‌های (یاخته‌های) مصرف‌کنندگان اولیه، منبع غذایی برای شکارچیان و پارازیت‌ها (انگل‌ها)در خاک می‌باشند. مصرف‌کنندگان ثانویه شامل تمام شکل‌های کوچک حیات گیاهی مانند باکتری‌ها، قارچ‌ها، اکتینومیست‌ها و همین‌طور گوشت‌خواران مانند صدپایان و کنه‌ها (که حیوانات دیگری مانند حشرات کوچک را مصرف می‌کنند) عنکبوت‌ها، نماتودها، حلزون‌ها و موش‌کورهای به‌خصوص که از کرم‌های خاکی تغذیه می‌کنند، می‌باشند. نمونه‌هایی از تغذیه‌کنندگان برروی ریزگیاهان به عنوان منبع غذایی شامل دم‌فنری‌های خاص، کنه‌ها، موریانه‌ها، نماتدها وتک‌یاخته‌گان می‌باشند. این تغذیه‌کنندگان برروی ریزگیاهان تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر فعالیت قارچ‌ها و باکتری‌ها دارند. چرای این ریز و متوسط جانوران در اجتماعات میکروبی ممکن است سبب تحریک فعالیت و رشد آن‌ها، بسیار شبیه چرای حیوانات بر تحریک رشد مرتع، در بین سایر اجتماعات میکروبی گردد. در سایر موارد، ممکن است تهاجم تغذیه‌کنندگان ریزگیاهان چنان سبب ازبین‌رفتن اجتماعات آن‌ها گردد، که فعالیت ریزجانداران را دچار محدودیت کند.



شکل ۳-۱۱ تأثیر انواع جانداران خاک در تجزیه‌ی بافت‌های برگ ذرت مدفون‌شده در خاک، کیسه‌های مختلف نایلونی مشبک با منافذ مختلف با ۵۵۸ میلی‌گرم(وزن خشک) بافت‌های برگ ذرت پرشده و برای مدت ۱۰ هفته در خاک مدفون شدند. مقدار بافت‌های پس‌مانده برگ ذرت در کیسه‌های مشبک ریز بافت، به دلیل ممانعت از ورود جانداران متوسط و درشت، به‌مقدار قابل‌ملاحظه‌ای بیشتر از سایر کیسه‌ها بود.

مصرف‌کنندگان ثالث

با بیشتر بالارفتن در زنجیره‌ی غذایی، مصرف‌کنندگان ثانویه خود شکار سایر گوشت‌خواران، تحت نام مصرف‌کنندگان ثالث قرار می‌گیرند. برای نمونه مورچگان از صدپایان، عنکبوت‌ها، کنه‌ها و عقرب‌ها تغذیه می‌کنند، که خود آن‌ها همگی می‌توانند مصرف‌کنندگان اولیه و ثانویه را شکار کنند.

ریزگیاهان درواقع در تمام سطوح فرایند (زنجیره‌ی غذایی) حضور دارند. علاوه بر حمله مستقیم آن‌ها به بافت‌های گیاهی (به‌عنوان مصرف‌کنندگان اولیه) در دستگاه هاضمه‌ی بسیاری از حیوانات خاک‌زی فعال بوده و به این حیوانات در هضم موادآلی بسیار مقاوم کمک می‌کنند. ریزگیاهان همچنین به مواد آلی تکه پاره شده در فضولات حیوانات حمله کرده و سبب تجزیه اجساد مرده‌ی حیوانات می‌شوند. به این دلیل آن‌ها تجزیه‌کنندگان نهایی نامیده می‌شوند.

همان‌طوری‌که در شکل ۲-۱۱ مشخص شده است، گروه‌های بزرگ از موجودات زنده مانند قارچ‌ها و یا کنه‌ها شامل گونه‌هایی می‌باشند که ممکن است مصرف‌کنندگان اولیه، ثانویه و ثالث باشند. برای مثال بعضی از کنه‌ها مستقیما به پس‌ماندهای خردشده گیاهی حمله می‌کنند درحالی‌که بعضی دیگر، از باکتری‌ها و قارچ‌ها که برروی پس‌ماندها رشد می‌کنند تغذیه می‌کنند. هنوز انواع دیگری وجود

دارند که به کنه‌های مصرف‌کننده قارچ‌ها حمله می‌کنند و آن‌ها را می‌بلعند. همچنین توجه کنید که تعاملی دو طرفه بین اکثر گروه‌های جانداران وجود دارد برای مثال بعضی از نماتدها از قارچ‌ها تغذیه می‌کنند و بعضی ازقارچ‌ها به نماتدها حمله می‌کنند.

۳-۱۱ فراوانی جانداران، زیتوده[1] و فعالیت حیاتی

تعداد موجودات زنده‌ی خاک عمدتاً تحت تأثیر مقدار و کیفیت غذای موجوداست. سایر عوامل موثر در تعداد موجودات شامل عوامل فیزیکی (مانند رطوبت و دما)، عوامل زیستی (شکار و رقابت) و خصوصیات شیمیایی خاک (مثلاً اسیدیته، عناصر غذایی محلول و شوری) می‌باشند. گونه‌هایی که در خاک‌های بیابانی مأوا دارند از گونه‌های موجود در جنگل مرطوب مطمئناً متفاوت بوده و آن‌ها نیز به نوبه‌ی خود از گونه‌های موجود در مزارع متفاوتند. خاک‌های اسیدی از گونه‌هایی ازدحام یافته است که با خاک‌هایی قلیایی متفاوت می‌باشند. همین‌طور تنوع و فراوانی گونه‌ها در جنگل‌های بارانی گرمسیری از مناطق معتدل خنک متفاوت می‌باشد.

به‌رغم این تفاوت‌ها، می‌توان به چند جمع‌بندی اندک مبادرت نمود. برای نمونه، مناطق جنگلی دارای تنوع بیشتری از جانوران خاک در مقایسه با علف‌زارها می‌باشند، گرچه وزن کل جانوران در هکتار و فعالیت جانوری، در علف‌زارها بیشتر است (جدول۱-۱۱ را مشاهده کنید). به همین ترتیب تعداد و زیتوده‌ی موجودات خاک، به‌خصوص جانوران در یک مزرعه‌ی تحت کشت وکار از یک زمین دست نخورده‌ی بومی کمتر است.

زیتوده کل (یا بخش زنده‌ی خاک) معمولاً در ارتباط با مقدار ماده‌ی آلی موجود است. نسبت بخش زنده بر اساس وزن خشک معمولاً ۱تا ۸ درصد ماده‌ی آلی خاک است. دانشمندان معمولاً بیان می‌دارند که نسبت کل ماده‌ی آلی به پس‌ماندهای آلی به توده حیاتی میکروبی به توده حیاتی جانوری حدوداً ۱:۱۰:۱۰۰:۱۰۰۰ می‌باشد.

فعالیت موجودات زنده به‌طور مقایسه‌ای

فعالیت گروه خاصی از موجودت زنده خاک معمولاً به‌وسیله‌ی (۱) تعداد آن‌ها در خاک(۲) وزن آن‌ها (زیتوده) در واحد حجم یا سطح خاک و (۳)فعالیت زیستی آن‌ها (معمولاً بر اساس گاز کربنیک متصاعد شده در فرایند تنفس اندازه‌گیری می‌شود). تعداد و زیتوده گروه‌های موجودات زنده که معمولاً در خاک وجود دارند در جدول ۲-۱۱ ارائه شده است گرچه فعالیت‌های زیستی که معمولاً در ارتباط با زیتوده موجودات است نشان داده نشده است.

همان‌طوری که می‌باید انتظار داشت، ریزجانداران خاک بیشترین تعداد را داشته و دارای بالاترین زیتوده می‌باشند. ریزگیاهان همراه با کرم‌های خاکی (و موریانه‌ها در خاک‌های مناطق گرمسیری) بیشترین فعالیت زیستی غالب را در اکثر خاک‌ها انجام می‌دهند. برآورد می‌شود که ۸۰ درصد سوخت‌وساز کل خاک به‌خاطر ریزگیاهان است، گرچه همان‌طوری‌که قبلاً گفته شد فعالیت آن‌ها به‌وسیله‌ی جانوران خاک افزایش می‌یابد. به این دلیل، بیشترین توجه به ریزگیاهان همراه با کرم‌های خاکی، موریانه‌ها و جانوران دیگر مبذول خواهد گشت.

موجوداتی که حتی بخش کوچکی از سوخت‌وساز کل را در خاک به عهده دارند می‌توانند نقش مهمی در تشکیل و مدیریت خاک ایفا کنند (فصل ۲ را مشاهده کنید) جوندگان سبب خردشدن، مخلوط‌شدن و خاکدانه‌سازی و مخلوط‌کردن پس‌ماندهای گیاهی سطحی با لایه‌های زیرین می‌شوند آن‌ها کانال‌هایی ایجاد می‌کنند که از آن آب و هوا به آسانی می‌توانند عبور کنند. مورچگان در مواضعی ویژه به‌خصوص در مناطق گرم، به‌خاطر توانایی‌های استثنایی آن‌ها در تخریب مواد چربی و برگرداندن خاک در هنگام ایجاد لانه، بسیار مهم می‌باشند. جانوران متوسط ریزه‌خوار خاک (عمدتاً کنه‌ها و دم‌فنری‌ها) (شکل ٤-۱۱ را مشاهده کنید) سبب جابه‌جایی و هضم نسبی پس‌ماندهای آلی و باقی‌گذاشتن فضولات برای تخریب ریزگیاهان می‌شوند. بسیاری از جانوران خاکزی با ساختن منافذ زیستی در تغییر مطلوب خصوصیات فیزیکی خاک موثر می‌باشند. سایر جانداران از خاک به عنوان زیست‌گاهی برای تخریب گیاهان عالی استفاده می‌برند.

منبع انرژی و کربن

جانداران خاک براساس این‌که کربن مورد نیاز ایجاد اجزاء یاخته‌ای خود را از کجا به دست می‌آورند به غیرخودپرور و خودپرور (جدول۳-۱۱) تقسیم‌بندی می‌شوند. موجودات غیرخودپرور خاک کربن خود را از تجزیه‌ی مواد آلی ایجادشده به‌وسیله‌ی سایر موجودات دیگر به‌دست می‌آورند. این موجودات که شامل جانوران خاک، قارچ‌ها، اکتینومیست و اکثر باکتری‌ها می‌باشند بسیار از موجودات خودپرور متنوع‌تر می‌باشند. آن‌ها مسوول تجزیه‌ی مواد آلی هستند.

[1]-Biomass

جدول ۱-۱۱ جرم حیاتی (زیتوده)گروه‌های جانوری در زیر اراضی جنگلی و مرتعی. جرم و درنتیجه سوخت‌وساز در علف‌زارها در بیشترین مقدار می‌باشد. کاج نوئل با برگ‌های حاوی مواد بازی کم سبب ایجاد شرایط اسیدی و تجزیه آرام می‌شود.

گروه موجودات زنده	زیتوده، گرم در مترمربع		
	علف‌زار- مرتع	جنگل	
		بلوط	کاج نوئل
گیاه‌خواران	۱۷/٤	۱۱/۲	۱۱/۳
ریزه‌خواران			
بزرگ	۱۳۷/۵	٦٦/۰	۱/۰
کوچک	۲۵/۰	۱/۸	۱/٦
شکارچیان	۹/٦	۰/۹	۱/۲
جمع	**۱۸۹/۵**	**۷۹/۹**	**۱۵/۱**

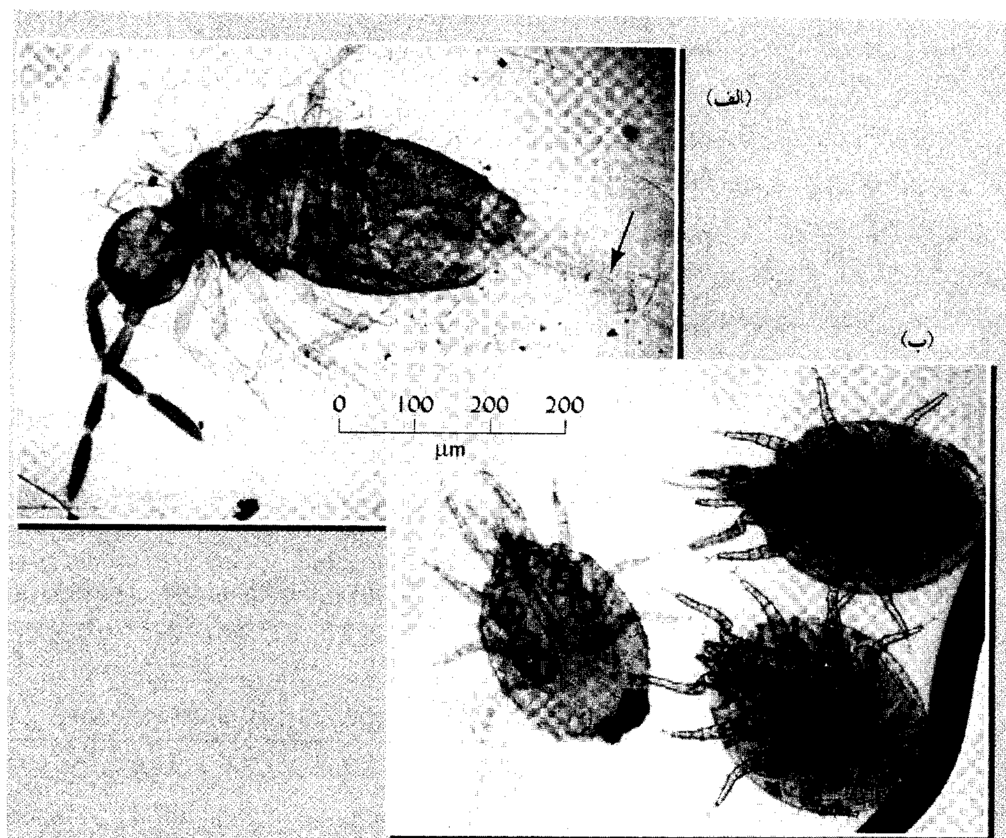
جدول۲-۱۱ تعداد نسبی و جرم حیاتی جانوران و گیاهان که معمولا در خاک‌های سطحی یافت می‌شود[1] از آن‌جاکه فعالیت سوخت‌وساز معمولا در ارتباط با جرم حیاتی می‌باشد، ریزگیاهان و کرم‌های خاکی در حیات اکثر خاک‌ها غالب می‌باشند.

موجود زنده	تعداد		زیتوده[2] (بر اساس وزن زنده)	
	در مترمربع	در گرم	کیلوگرم در هکتار	گرم در مترمربع
ریزگیاهان				
باکتری‌ها	$۱۰^{۱۳}$–$۱۰^{۱٤}$	$۱۰^{۸}$–$۱۰^{۹}$	٤۰۰–۵۰۰۰	٤۰–۵۰۰
اکتنومسیت‌ها	$۱۰^{۱۲}$–$۱۰^{۱۳}$	$۱۰^{۷}$–$۱۰^{۸}$	٤۰۰–۵۰۰۰	٤۰–۵۰۰
قارچ‌ها	$۱۰^{۱۰}$–$۱۰^{۱۱}$	$۱۰^{۵}$–$۱۰^{٦}$	۱۰۰۰۰–۱۵۰۰۰	۱۰۰–۱۵۰۰
جلبک‌ها	$۱۰^{۹}$–$۱۰^{۱۰}$	$۱۰^{٤}$–$۱۰^{۵}$	۱۰–۵۰۰	۱–۵۰
جانوران خاک				
تک‌یاخته‌گان	$۱۰^{۹}$–$۱۰^{۱۰}$	$۱۰^{٤}$–$۱۰^{۵}$	۲۰–۲۰۰	۲–۲۰
نماتدها	$۱۰^{٦}$–$۱۰^{۷}$	۱۰–$۱۰^{۲}$	۱۰–۱۵۰	۱–۱۵
کنه‌ها	$۱۰^{۳}$–$۱۰^{٦}$	۱–۱۰	۵–۱۵۰	۰/۵–۱/۵
کولومبولا	$۱۰^{۳}$–$۱۰^{٦}$	۱–۱۰	۵–۱۵۰	۰/۵–۱/۵
کرم‌های خاکی	۱۰–$۱۰^{۳}$	–	۱۰۰–۱۵۰۰	۱۰–۱۵۰
سایر جانوران	$۱۰^{۲}$–$۱۰^{٤}$	–	۱۰–۱۰۰	۱– ۱۰

موجودات خودپرور کربن خود را به‌جای این‌که از کربن تثبیت‌شده در مواد آلی به‌دست آورند، از گازکربنیک ساده (CO_2) و یا کانی‌های کربناته به‌دست می‌آورند. موجودات خودپرور براساس این‌که انرژی خود را از کجا به‌دست می‌آورند می‌توانند بیشتر تقسیم شوند. بعضی انرژی آفتاب را مورد استفاده قرار می‌دهند (خودپرور نوری) درحالی‌که بقیه انرژی آزاد شده از اکسایش عناصر معدنی مانند گوگرد، نیتروژن و آهن (شیمی خودپرور) به‌دست می‌آورند درحالی‌که موجودات خودپرور در اقلیت می‌باشند تثبیت کربن و واکنش‌های اکسایش معدنی به‌وسیله‌ی این گروه به آن‌ها امکان می‌دهد که نقشی حیاتی در نظام خاک ایفا کنند. خودپرورها عمدتاً شامل جلبک‌ها، سیانوباکتری‌ها و باکتری‌های خاص دیگر می‌باشند.

[1] - برای کرم‌های خاکی عمق بیشتری در نظر گرفته شده است.

[2] - ارقام زیتوده بر اساس وزن زنده است وزن خشک شده ۲۰ تا ۲۵٪ این ارقام است.



شکل ٤-١١ الف دم‌فنری‌ها(کولومبولا) و ب کنه‌ها. جانوران متوسط ریزه‌خواری هستند که معمولا در خاک‌ها یافت می‌شوند. دم‌فنری‌ها نام خود را از فورکولا (دم) فنری‌مانند گرفته‌اند که از آن برای جهش به اطراف استفاده می‌کنند.

جدول ۳-۱۱ گروه‌بندی سوخت‌وساز موجودات خاک بر اساس منبع انرژی سوخت‌وساز آن‌ها، و براساس منبع کربن برای بازسازی زیست شیمیایی

منبع کربن	منبع انرژی	
	اکسایش زیست شیمیایی	تابش خورشیدی
کربن آلی مرکب	غیرخودپرورهای شیمیایی:تمام جانوران، قارچ‌ها، اکتینومیست‌ها واکثر باکتری‌ها نمونه:کرم های خاکی، اسپرژیلوس[الف]، آزوتوباکتر[ب]، زودوموناس[ج]	غیرخودپرور نوری: جلبک‌های محدود
اکسید کربن	خودپرورهای شیمیایی: نمونه: اکسیدکننده‌های آمونیاک نیتروزموناس[د] اکسیدکننده‌های گوگرد تیو باسیلیوس[ه]	خودپرور نوری جلبک‌ها و سیانو باکتری‌ها نمونه:کورلا[و] – نوستوک[ز]

(الف):Aspergillus (ب):Azotobacter (ج):Pseudomonas (د):Nitrosomonas

(ه):Thiobacillus (و):Chorella (ز):Nostoc

۴-۱۱ کرم‌های خاکی

کرم‌های خاکی احتمالاً مهم‌ترین درشت‌جانوران خاک باشند (شکل ۵-۱۱). آن‌ها همراه با عموزاده‌های متوسط اندازه‌ی خود یعنی کرم‌های اینکی‌تراید[1] تخم‌گذار و خودگشن[2] (اندام‌های نر و مادگی در یک فرد وجود دارد) بوده و از خرده‌ریزها، مواد آلی خاک و موجودات ذره‌بینی موجود بر روی این مواد تغذیه می‌کنند. آن‌ها از گیاهان زنده و ریشه آن‌ها تغذیه نکرده و آفت نباتات به‌حساب نمی‌آیند[3]. بیشتر از ۳۰۰۰ گونه کرم‌خاکی در جهان شناخته شده‌اند. *Lumbricus terrestris* که موجودی قرمزرنگ بوده و سوراخ‌های عمیقی ایجاد می‌کند و *Allolobophora caliginosa* که موجودی صورتی کم‌رنگ بوده و سوراخ‌های کم‌عمق ایجاد می‌کند دو نوع بسیار معمول در اروپا و آمریکای شرقی و مرکزی می‌باشند. *Lumbricus terrestris* معمولا خزنده‌ی شبانه[4] نامیده می‌شود، سر به هوا بوده و برای کشیدن خرده‌ریزها به‌داخل سوراخ خود به‌سطح خاک آمده، و معمولاً کپه‌هایی از خرده‌ریزهای جمع‌شده نزدیک سوراخ خود ایجاد می‌کنند. *Allobophora caliginsosa* معمولاً کرم‌های قرمز نامیده می‌شوند ودر داخل خاک سربه‌زیر بوده و فضولات خود را به‌سطح خاک می‌رانند.

در مناطق گرمسیری دیگر انواع کرم‌های خاکی غالب می‌باشند در مناطقی که بارندگی سالانه حداقل ۸۰۰ میلی‌متر است گونه‌ی غالب را در بین جانوران تشکیل می‌دهند. بعضی از گونه‌های گرمسیری کوچک و بعضی دیگر به‌طور تعجب‌آوری بزرگ می‌باشند. بومی‌های استرالیایی به‌خاطر شکار کرم‌های خاکی که بیش از یک متر رشد می‌کنند مشهور می‌باشند. از طرف دیگر طول کرم‌های اینکی‌تراید از ۱ میلی‌متر تا کمتر از چند سانتی‌متر متغیر می‌باشد.

جالب توجه این است که *Lumbricus terrestris* گونه بومی آمریکا نبوده و احتمالاً در خاک دور ریشه‌ی نهال‌های میوه که مهاجرین با خود حمل می‌کردند از اروپا وارد شده است. با به‌زیر کشت درآمدن جنگل‌ها و مراتع این کرم‌های معرفی‌شده از اروپا به‌سرعت یا با پرکردن نقش حیاتی که از آخرین زمان یخبندان خالی مانده بود و یا با جایگزین‌کردن گونه‌های بومی که نمی‌توانستند تغییرات ایجاد شده در محیط خاک را که به‌وسیله‌ی شخم و شیار حاصل شده بود، تحمل کنند، غالب شوند. گرچه هنوز اراضی بکر بخشی از جمعیت بومی کرم‌های خاکی خود را دارا می‌باشند.



شکل ۵-۱۱ کرم‌های خاکی شاید مهم‌ترین جانداران درشت خاک در خاک‌های مناطق مرطوب معتدل، مخصوصاً در ارتباط با اثرات آن‌ها در شرایط فیزیکی خاک باشد. گونه‌های تغذیه‌کننده سطحی مانند *L.Terrestris* مقادیر زیادی لاشبرگ گیاهی را با خاک مخلوط کرده و معمولاً پس‌ماندهای گیاهی را در کپه‌هایی که میدن[5] نامیده می‌شوند در ورودی حفرات خود گرد می‌آورند.

تأثیر کرم‌های خاکی در حاصل‌خیزی و توان تولید

حفره‌ها: کرم‌های خاکی حقیقتاً راه خود را در داخل خاک می‌خورند. آن‌ها ممکن است خاکی ۲ تا ۳۰ برابر وزن خود را در هر روز از بدن خود عبور دهند. در یک‌سال جمعیت کرم‌های خاکی ممکن است بین ۵۰ تا ۱۰۰۰ تن خاک را در یک هکتار از بدن خود عبور دهند.

---

1 - Enchytraeid

2 - Hermaphrodites

۳-در این مورد کرم‌های خاکی را نباید با کرم‌های مفتولی، کرم ریشه و سایر لاروهای حشرات خاکزی، که معمولا کرم نامیده می شوند، و ممکن است آفات خطرناکی برای نباتات باشند، اشتباه نمود.

4- Nightcrawlers

5 - Middens

عدد بزرگ‌تر معمولاً در اقالیم گرمسیری مرطوب صورت می‌گیرد. با این عمل آن‌ها نظام گسترده‌ای از حفرات ایجاد می‌کنند در یک مترمربع این حفره‌ها دارای ۵ تا ۱۰۰ متر طول بوده که حدود ۰/۱ تا ۹ لیتر حجم منافذ زیستی[1] را شامل می‌شوند. بسته به نوع گونه کرم خاکی منافذ عمدتاً قائم یا افقی می‌باشند، بعضی منافذ درشت پیوسته‌ای تا عمق ۱ متر ایجاد می‌کنند.

فضولات قالبی[2]: کرم‌های خاکی مقادیر فراوانی از خاک و مواد آلی نسبتاً هضم‌شده از خود بیرون می‌دهند. فضولات کرم‌های خاکی فضولات قالبی نامیده می‌شود و معمولاً به‌شکل خاکدانه‌های کروی است. بعضی از آن‌ها در شکل ۵-۱۱ دیده می‌شوند. رفتار ایجاد قالب در کرم‌های خاکی سبب پایداری خاکدانه‌ها می‌شود (جدول ٤-۱۱) قالب‌ها در داخل خاکرخ و یا برروی سطح خاک بسته به گونه کرم خاکی جای‌گذاری می‌شوند. توده‌های قالبی کرم خاکی در سطح خاک و سوراخ‌های مدور در ورودی حفره‌ها علایم مهم فعالیت‌های کرم خاکی به‌حساب می‌آیند. در بسیاری از موارد قطعاتی از لاشبرگ گیاهی باید برای مشاهده ورودی حفره‌ها کنار زده شوند.

عناصر غذایی: فعالیت کرم‌های خاکی سبب افزایش خیلی زیاد حاصل‌خیزی خاک و توان تولید آن در نتیجه تغییر شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک، به‌خصوص در ۱۵ تا ۳۵ سانتی‌متری فوقانی خاک، می‌گردد. کرم‌های خاکی سبب افزایش قابلیت استفاده کانی‌های غذایی به دو طریق برای گیاهان می‌شوند. اول، خاک و مواد آلی با عبور از درون بدن کرم‌های خاکی به‌طور فیزیکی آسیاب گردیده و به‌طور شیمیایی به‌وسیله‌ی آنزیم‌های هضم‌کننده و ریزگیاهان روده‌ی آن‌ها مورد تهاجم قرار می‌گیرد. دوم، با بلعیدن خرده‌ریزها و مواد آلی خاک که دارای غلظت‌های کمتری از نیتروژن، فسفر و گوگرد می‌باشند، بخشی از این مواد به بخشی از بافت‌های بدن آن‌ها تبدیل شده و در نتیجه بدن آن‌ها دارای غلظت بالایی از این عناصر غذایی می‌گردد، که پس از مردن و تجزیه کرم‌های خاکی به آسانی برای گیاهان آزاد می‌شود.

درمقایسه با توده‌ی خاک، فضولات کرم خاکی به‌طور مشخص دارای باکتری، مواد آلی و عناصر غذایی قابل‌استفاده بیشتری می‌باشد (جدول ٤-۱۱). این فضولات معمولاً در حفره‌هایی به‌جای گذاشته می‌شوند که گذرگاه‌های کم‌مقاومتی در مقابل رشد ریشه بوده، و بنابراین سبب افزایش قابلیت استفاده هرچه بیشتر این عناصر غذایی می‌گردد. رشد خیلی زیاد گیاهان چمنی در اطراف فضولات کرم‌های خاکی در چمن‌ها و مراتع نشانه‌ی اثر مطلوب کرم‌های خاکی بر توان تولیدی می‌باشد. به‌علاوه مخلوط‌کردن فیزیکی پس‌مانده‌های گیاهی سطحی به‌داخل خاک به‌وسیله‌ی کرم‌های خاکی و سایر جانوران خاکزی سبب کاهش هدررفت عناصر غذایی، به‌خصوص نیتروژن، براثر فرسایش و تصعید می‌شود. این عمل فیزیکی در چمن‌زارها و سایر خاک‌های کشت‌وکار نشده (از جمله در آن‌هایی که نظام شخم و شیار اندک اعمال می‌شود) سبب کسب عنوان ((شخم‌وشیارکنندگان طبیعت[3])) به‌وسیله‌ی کرم‌های خاکی شده است.

اثرات مفید فیزیکی: کرم‌های خاکی به طرق دیگر نیز مفید هستند، سوراخ‌های باقی‌مانده در خاک (شکل ۷-٦) سبب افزایش تهویه و زه‌کشی، که مسأله قابل‌توجه مهمی در تولید محصولات و تکامل خاک می‌باشد، می‌گردند. در علف‌های چمن‌زار، فعالیت مخلوط‌کردن کرم‌های خاکی می‌تواند سبب کاهش، و یا تخفیف مسایل تراکم و حذف احتمال تشکیل یک لایه نامطلوب پوشال غیرقابل‌نفوذ گردد. در بارندگی‌های سنگین، حفره‌های کرم‌های خاکی ممکن است سبب افزایش نفوذ آب به داخل خاک گشته (شکل٦-۱۱ را مشاهده کنید)، و بنابراین نقش مهمی را در حفاظت آب، و جلوگیری از فرسایش داشته باشد. به‌علاوه کرم‌های خاکی سبب مخلوط‌شدن و خاکدانه‌ای‌شدن خاک می‌شود. فضولات آن‌ها بخش قابل‌توجهی از خاکدانه‌های پایدار را در اکثر خاک‌ها تشکیل می‌دهد. کرم‌های خاکی سبب افزایش هم‌اندازه، و هم‌پایداری خاکدانه‌های خاک می‌شود. تا حدود ۵۰ تا ٦۰ درصد خاک سطحی ممکن است دارای فضولات پایدار کرم‌های خاکی باشد. به‌علاوه ریسه‌ی قارچ‌ها که و تشکیل حفره‌های کرم‌های خاکی توسعه می‌یابند سبب پیوند ذرات خاک در خاکدانه‌های پایدار می‌شود.

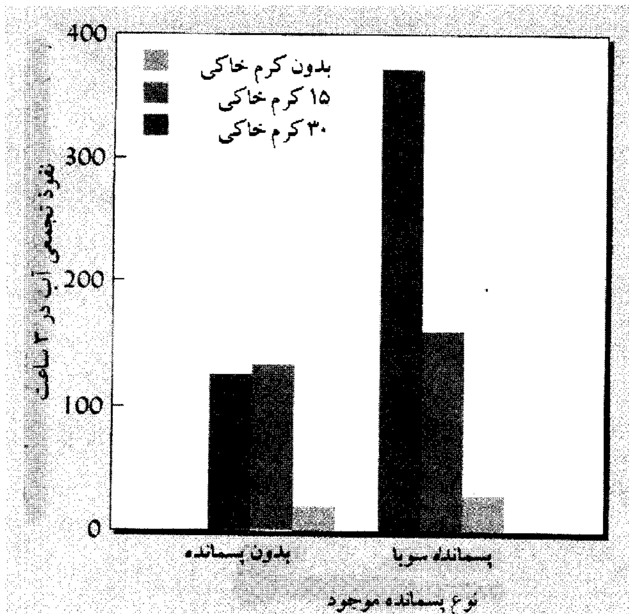
تأثیر آبشویی شیمیایی[4]

تمام اثرات کرم‌های خاکی مفید نمی‌باشد. برای نمونه، دیده شده که گونه *Lumbricus terrestris* سبب برداشت پس‌ماندهای گیاهی از بخش اعظم خاک برای ایجاد تپه‌های کوچک لاشبرگ می‌شود. (شکل ۵-۱۱ را مشاهده کنید). هنوز معلوم نیست که این عمل تا چه حد سبب حساسیت خاک آشکار شده درمقابل برخورد قطرات باران، ایجاد سله و افزایش فرسایش می‌شود. به همین نحو در چمن‌های متراکم زمین گلف فضولات کرم‌های خاکی در سطح خاک یک مزاحم به شمار می‌آید.

---

1 - Biopore
2 - Casts
3 - Nature`s tillers
4- Chemical leaching

جنبه مورد توجه دیگر این است که آبی که به سرعت از سوراخ‌های قائم کرم خاکی فرونشست می‌یابد ممکن است آلاینده‌های بالقوه را به‌داخل آب زیرزمینی حمل کند(شکل ۲۵-۶). گرچه موادی که کرم‌های خاکی با آن حفرات خود را پوشش می‌دهند از نظر ماده‌ی آلی بسیار غنی بوده و ممکن است در مقایسه با خاک‌های اطراف این مواد پوششی دو تا پنج برابر ظرفیت نگهداری علف‌کش‌های خاص را دارا باشند. و بنابراین، انتقال چنین آلاینده‌هایی از حفره کرم‌های خاکی کمتر از آن است که با جریان توده‌ای در این منافذ زیستی قابل‌انتظار است. حاصل کلام کرم‌های خاکی بسیار مفید بوده و فعالیت آن‌ها معمولاً به‌وسیله‌ی مدیران خاک مورد حمایت قرار می‌گیرد.



شکل ٦-١١ کرم‌های خاکی ممکن است به‌طور اعجاب‌آوری نفوذ آب را به‌داخل خاک افزایش دهند، به‌خصوص هنگامی‌که آن‌ها بر روی بقایای گیاهی سطح خاک تغذیه کنند این اطلاعات مربوط به خاک سری روب[1] (مولی‌سول) در ایالت ایلینوی می‌باشد که در آن‌ها تعداد مشخصی از کرم‌های خاکی حاضر بودند.

جدول ٤-١١ خصوصیات قابل‌مقایسه فضولات کرم‌های خاکی و خاک‌ها (میانگین ٦ خاک- نیجریه)

خصوصیات	رس و لای، درصد	وزن مخصوص ظاهری، مگاگرم‌درمترمکعب	×پایداری ساختمان	ظرفیت تبادل کاتیونی، cmol$_c$/kg	کلسیم تبادلی cmol$_c$/kg	پتاسیم تبادلی cmol$_c$/kg	فسفر محلول، ppm	نیتروژن کل درصد
فضولات کرم‌های خاکی	۳۸/۸	۱/۱۱	۸٤۹	۱۳/۸	۸/۹	۰/٦	۱۷/۸	۰/۳۳
خاک	۲۲/۲	۱/۲۸	٦۵	۳/۵	۲	۰/۲	٦/۱	۰/۱۲

× تعداد قطرات لازم برای تخریب خاکدانه‌های ساختمانی

عوامل موثر در فعالیت کرم‌های خاکی

کرم‌های خاکی، یک زیست‌گاه دارای تهویه خوب اما مرطوب را ترجیح می‌دهند. به این دلیل، آن‌ها در خاک‌های بافت متوسط اراضی بالادست، که ظرفیت نگهداری رطوبت آن‌ها در مقایسه با شن‌های خشک و یا اراضی پست با زه‌کشی ضعیف، مناسب‌تر می‌باشد به وفور وجود دارند. کرم‌های خاکی باید ماده‌ی آلی را به عنوان منبع غذایی در دسترس داشته باشند. معمولاً آن‌ها روی مواد آلی تازه غیرپوسیده به بهترین نحو رشد می‌کنند. بنابراین، آن‌ها درجاهایی‌که کوددامی و پس‌ماندهای گیاهی به خاک افزوده شوند دارای بهترین رشد می‌باشند. گونه‌های کمی به pH پایین به‌طور معقولی مقاوم می‌باشند اما اکثر کرم‌های خاکی در محل‌هایی‌که خاک خیلی اسیدی نبوده (pH ۸/۵ - ۵/۵) و دارای مقادیر کافی کلسیم باشند به بهترین نحو رشد می‌کنند (کلسیم جزء قابل‌توجهی از مواد قالبی دفع‌شده آن‌ها است). بیشتر کرم‌های خاکی به شوری بیش ازحد حساس می‌باشند. اینکی‌ترایدها بسیار مقاوم‌تر به شرایط اسیدی بوده و در بعضی از اسپدوسول‌های جنگلی بسیار فعال‌تر از کرم‌های خاکی هستند.

---
[1]- Raub soil (mollisol)

به‌نظر می‌رسد دمای بالاتر از ۱۰ درجه‌ی سانتیگراد برای کرم خاکی معمولی *Lumbricus terrestris* درجه‌ی حرارت بهینه باشد. این حساسیت به دما به انضمام ارجحیت خاک مرطوب، احتمالاً دلیل حداکثر فعالیت کرم‌های خاکی است که در مناطق معتدل در بهار و پاییز مشاهده می‌شود. بعضی از کرم‌های خاکی حفره‌هایی به عمق ۱ تا ۲ متر در خاکرخ ایجاد می‌کنند و بنابراین از شرایط نامطلوب رطوبت و دما اجتناب می‌کنند. متأسفانه درخاک‌هایی که به‌وسیله‌ی خاک‌پوش پس‌ماندهای گیاهی حفاظت نشده باشند، یک یخ‌بندان سنگین ناگهانی در پاییز ممکن است کرم‌ها را قبل از این‌که بتوانند به اعماق خاکرخ حرکت کنند از بین ببرد.

سایر عوامل که جمعیت کرم‌های خاکی را کاهش می‌دهد شکارچیان آن‌ها (موش کور، موش معمولی،کنه‌های به‌خصوص و هزارپایان)، خاک‌های خیلی شنی(شاید بخشی به‌دلیل اثرسایندگی دانه‌های تیز شن)، تماس مستقیم با کود آمونیاک، مصرف حشره‌کش‌های خاص(به‌خصوص کارباماپدها) و شخم وشیار می‌باشند. عامل آخری، برجسته‌ترین عامل محدودکننده‌ی جمعیت کرم‌های خاکی در خاک‌های زراعی می‌باشد. نظام خاک‌ورزی کمینه[1] با پس‌ماندهای گیاهی زیادی به‌صورت خاک‌پوش در سطح زمین سبب تقویت کرم‌های خاکی می‌شود.

به‌دلیل حساسیت آن‌ها به خاک و سایر عوامل محیطی، تعداد کرم‌های خاکی به‌طور گسترده‌ای در خاک‌های مختلف متغیر می‌باشد. در خاک‌های جنگلی خیلی اسیدی (اسپدوسول) میانگین تعداد آن‌ها، یک عدد در مترمربع است. در مقابل در خاک‌های چمن‌زارهای حاصل‌خیز (مولی‌سول) و اراضی زراعی با ماده‌ی آلی زیاد که تحت مدیریت خاک‌ورزی کمینه می‌باشند تا ۵۰۰ عدد در مترمربع یافت می‌شوند. معمولاً تعداد آن‌ها در خاک‌های زراعی از ۳۰ تا ۳۰۰ عدد در مترمربع که معادل ۳۰۰ هزار تا ۳ میلیون در هکتار باشد، تغییر می‌کند.

یک روش ساده برای برآورد جمعیت کرم‌های خاکی در چمن‌زارها و خاک‌های زراعی عبارت از کندن چاله‌ای به عمق ۲۵ تا ۳۰ سانتی‌متر است. در شرایط نسبتاً مرطوب خنک، به‌طور متوسط وجود ۵ تا ۱۰ کرم خاکی در هر بیل خاک که برگردانده می‌شود قابل‌انتظار می‌باشد، که بیانگر حالت نسبتاً معقول سلامت بوم‌زیست خاک است.

۱۱-۵ موریانه‌ها

موریانه‌ها، که بعضی مواقع مورچگان سفید نامیده می‌شوند، مهم‌ترین عوامل تجزیه‌ی مواد آلی در داخل و یا روی خاک می‌باشند. حدود ۲۰۰۰ گونه موریانه شناخته شده است که در بین آن‌ها چندین گونه وجود دارند که معمولاً نقب‌های محافظ در خاک ایجاد می‌کنند که آن‌ها را قادر می‌سازد به ساختمانهای چوبی بدون سپرهای محافظ فولادی حمله برد. و سپس آن‌ها را نابود سازند.

موریانه‌ها در ۳/۲ سطح اراضی کره زمین یافت می‌شوند اما در چمن‌زارها (علف ساوانا) و جنگل‌های گرمسیری و نیمه‌گرمسیری(مرطوب و نیمه‌مرطوب) بسیار فراوان می‌باشند. میزان فعالیت آن‌ها قابل‌مقایسه با کرم‌های خاکی می‌باشد. در حدود ۱۶ میلیون موریانه در یک هکتار جنگل گرمسیری پهن‌برگ آماربرداری شده است. در مناطق گرمسیر خشک تر(با کمتر از ۸۰۰ میلی‌متر باران) موریانه‌ها از کرم‌های خاکی بیشتر می‌باشند.

فعالیت‌های تپه‌سازی

موریانه‌ها جانورانی اجتماعی بوده که در دخمه‌های بسیار پیچیده از آشیانه‌ها، گذرگاه‌ها و دالان‌ها که در روی و یا زیرزمین ایجاد می‌کنند زندگی می‌کنند. تپه‌های موریانه‌ها که از ذرات خاک به‌هم چسپیده تشکیل شده است چهره مشخص بسیاری از اراضی در آفریقا، آمریکای لاتین، استرالیا و آسیا می‌باشد(شکل ۷-۱۱). این تپه‌ها و شبکه‌ی گذرگاه‌های زیرزمینی و فرار راه‌های پوشیده روی زمین که مشخصاً حدود ۲۰ تا ۳۰ متر در اطراف تپه‌ها توزیع یافته‌اند. اساساً «شهرهای» موریانه‌ها نامیده می‌شود. گرچه گونه‌های اندکی، از گیاهان چوبی زنده و چوب‌های مرده‌ی سخت تغذیه می‌کنند، اکثر موریانه‌ها بر روی مواد چوبی در حال فساد و پس‌ماندهای گیاهی می‌زیند. گونه‌های متعددی مانند *Macrotermes spp* در آفریقا از پس‌ماندهای گیاهی برای کشت قارچ‌ها در تپه‌های خود به‌عنوان ماده‌ی غذایی سود می‌برند. در ساختن تپه‌های خود موریانه‌ها خاک را از لایه‌های پایین به سطح آورده، و بنابراین خاک را به‌طور وسیعی مخلوط کرده و با پس‌ماندهای گیاهی، که به‌عنوان غذا استفاده می‌کنند مخلوط می‌کنند. با جمع‌آوری و از منطقه وسیعی در اطراف هر تپه، این حشرات تا

[1]- Minimum tillage

حدود ٤٠٠٠ کیلوگرم در هکتار برگ و مواد چوبی را که بخش عمده‌ای از لاشبرگ گیاهی تولید شده در بسیاری از نظام‌های زیست‌بوم گرمسیری است، برداشت می‌کنند. آن‌ها هر سال ۳۰۰ تا ۱۲۰۰ کیلوگرم خاک را برای فعالیت‌های ساخت تپه‌ها حرکت می‌دهند. این فعالیت‌ها اثرات مهمی بر روی تشکیل خاک، حاصل‌خیزی، و توان تولیدی فعلی خاک دارد.

مقدار خاک مصرف‌شده در تپه موریانه‌ها می‌تواند بسیار عظیم باشد، تا بیشتر از ۲/٤ میلیون کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (با توجه به فصل ٤، ۱۵ سانتی‌متر عمق خاک در یک هکتار حدود ۲/۲ میلیون کیلوگرم وزن دارد). بر حسب گونه و شرایط محیطی، ممکن است موریانه‌ها تپه‌های با ارتفاع ٦ متر و یا بیشتر ایجاد کرده و برای دسترسی به رطوبت و یا لایه رسی آن‌ها به راحتی تا عمق بیشتری در داخل خاک گسترش دهند. هر تپه زیست‌گاهی برای تعداد حدود یک میلیون و یا بیشتر موریانه تأمین می‌کند. تپه‌ها بعد از ۱۰- ۲۰ سال متروکه شده و می‌توانند برای تسطیح و کشت‌وکار از بین روند. کوشش برای تسطیح یک تپه مسکونی معمولاً با شکست مواجه می‌شود، زیرا موریانه‌ها به‌سرعت آن‌را بازسازی می‌کنند مگر این‌که ملکه آن‌ها نابود شود.

تأثیر موریانه‌ها بر توان تولید خاک

برخلاف کرم‌های خاکی، موریانه‌ها معمولاً اثر مفیدی برتوان تولیدی خاک ندارند، زیرا فرایند هضم که به یاری ریزجانداران روده آن‌ها انجام می‌شود، بسیار کارآتر از ریزجانداران کرم خاکی است. کرم‌های خاکی همچنین سبب مخلوط شدن ماده‌ی آلی به‌داخل خاک دریک حالت نسبتاً یکنواخت درهر هکتار زمین می‌شود. درمقابل موریانه‌ها سبب مخلوط‌شدن موضعی پس‌ماندهای گیاهی به‌داخل خاک لانه خود شده و بقیه سطح اراضی از پس‌ماندهای گیاهی برهنه می‌شود. این رفتار موریانه‌ها می‌تواند سطح مزارع را از مزایای خاک‌پوش پس‌ماندهای گیاهی شدیداً محروم سازد (شکل ۸-۱۱ را مشاهده کنید).

رشد گیاهان روی خاک‌های تپه‌های موریانه‌ها: مواد موجود در تپه موریانه‌ها اغلب دارای ماده‌ی آلی و میزان عناصر غذایی کمتری در مقایسه با خاک‌های سطحی دست‌نخورده اطراف می‌باشد، زیرا موریانه‌ها پشته‌های خود را عمدتاً با استفاده از خاک تحت‌الارضی می‌سازند که مشخصاً دارای ماده‌ی آلی کمتر از خاک سطحی می‌باشد. گیاهان در خاک‌هایی‌که زمانی جزء این تپه‌ها بوده‌اند نه‌تنها به خاطر عناصر غذایی اندک در خاک سطحی، بلکه به‌دلیل وزن مخصوص بیشتر بعضی از خاک‌های این تپه‌ها که ذرات آن‌ها هنگام ساختن به‌وسیله‌ی موریانه‌ها به‌هم پیوند یافته‌اند دارای رشد ضعیفی می‌باشد. هرچند اگر خاک تحت‌الارضی از نظر عناصر غذایی غنی‌تر از خاک سطحی باشد و یا در مقایسه با یک خاک سطحی شنی غیرحاصل‌خیز، غنی از رس باشد، ممکن است خاک‌های حاصل از این تپه‌های متروکه به‌دلیل قابلیت استفاده بیشتر فسفر، پتاسیم، کلسیم و رطوبت جزایری را با میزان تولید بالا به‌وجود آورند. این مسأله در خاک‌های زه‌دار با سطح ایستابی بالا نیز صادق است. تپه موریانه‌ها جزایری با زه‌کشی و تهویه بهتر را ایجاد می‌کند که سبب رشد به‌مراتب بهتر گیاهان می‌شود. در بعضی از مناطق به‌خصوص نیمه‌خشک(ساوانا) آب‌روهای بزرگ پایدار ایجاد شده به‌وسیله‌ی موریانه‌ها نفوذ آب را به‌داخل خاک به‌مقدار زیاد افزایش می‌دهند، که در غیراین‌صورت سبب تمایل به ایجاد سله سطحی غیرقابل‌نفوذ می‌گردند (شکل ۸-۱۱ را مشاهده کنید.).

فعالیت موریانه‌ها عاملی مهم در تشکیل خاک‌های گرمسیری و نیمه‌گرمسیری می‌باشد(فصل ۲ را مشاهده کنید). این حشرات همچنین دارای هم اثرات مثبت و هم اثرات منفی بر روی نوع استفاده جاری در این مناطق می‌باشد. آن‌ها سبب تسریع فساد درختان مرده و علف‌ها می‌شوند. اما آن‌ها با ایجاد سریع لانه‌ها و یا تپه‌ها، همچنین سبب قطع تولید محصولات زراعی و حتی جاده‌سازی می‌گردد. قبل از ترک موضوع موریانه‌ها باید تذکر داد که سوخت‌وساز باکتریایی در روده این حیوانات بسیار فراوان در خاک، مسوول بخش بزرگی از تولید جهانی گاز متان (CH_4)می‌باشد که یک گاز مهم گل‌خانه‌ای است(فصل ۱۲ را مشاهده کنید).

٦-۱۱ ریزجانوران خاک

از نقطه نظر حیوانات میکروسکوپی، خاک بسیاری از زیستگاه‌ها را که اساساً آبی می‌باشد دست‌کم به تناوب معرفی می‌کند. به این دلیل، ریزجانوران خاک در ارتباط نزدیک با ریزجانداران موجود در آب‌ها می‌باشند. دو گروه که بیشترین تأثیر را در فرایند خاک دارا هستند نماتدها و تک‌یاخته‌گان می‌باشند.


(الف)


(ب)


(ج)

شکل ۷-۱۱ تپه‌ی موریانه در مزارع تحت کشت‌وکار در آفریقا (الف) یک تپه‌ی موریانه در مزرعه ذرت (ب) نیم‌رخ بریده شده یک تپه دیگر که نشان‌دهنده‌ی اندازه و عمق دالان‌های زیرزمینی می‌باشد.(ج) موریانه‌ها قطعاتی از برگ بریده‌شده را به‌داخل لانه زیرزمینی می‌کشانند.

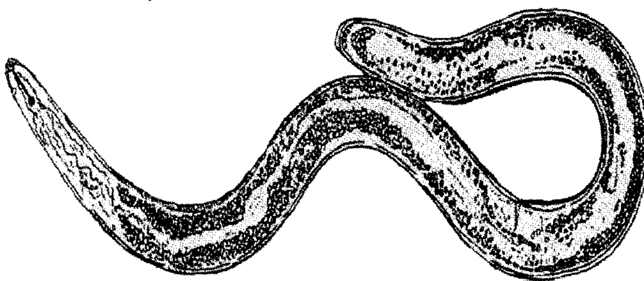


شکل ۸-۱۱ موریانه‌ها به‌سرعت سبب ناپدیدشدن این پس‌ماندهای ذرت خوشه‌ای شده و خاک‌های شنی حساس به فرسایش را از مزایای خاک‌پوش حفاظتی محروم می‌کنند. گرچه موریانه‌ها سبب ایجاد آبراهه‌های درشت پایدار متعددی می‌شوند که سبب گرفتن آب حاصل از بارندگی در مزرعه در این خاک واقع در منطقه ساحل آفریقای غربی می‌گردد. به اندود خاک که موریانه‌ها به دور قسمتهای از پس‌مانده‌های گیاهی ایجاد کرده‌اند توجه کنید. در زیر این اندوده‌ها موریانه‌ها از خشک‌شدن به‌وسیله‌ی آفتاب و باد مصون می‌مانند. تیغه چاقو در عکس دارای ۷ سانتی‌متر طول است.

نماتدها

به‌طور معمول کرم‌های نخ مانند[1] و یا کرم‌های مارماهی[2] مانند نامیده می‌شوند. تقریباً در تمام خاک‌ها به‌صورتی تعجب‌آور در حد فراوان یافت می‌شوند(جدول ۲-۱۱) آن‌ها کرم‌های نازک غیربندبند گرد بوده و قطر آن‌ها ۱۰۰-٤ میکرومتر و طول آن‌ها به چندین میلی‌متر می‌رسد (شکل ۹-۱۱). بنابراین آن‌ها به‌ندرت با چشم غیرمسلح دیده می‌شوند.

خاک‌های شنی مرطوب به‌طور شاخص دارای جمعیت زیاد نماتد می‌باشند، زیرا دارای منافذ فراوان با اندازه‌ای چنان درشتند که با فعالیت شناکردن این موجودات فعال سازگاری دارند. وقتی منافذ درشت خشک می‌شوند، نماتدها با پیچیدن به دور خود در یک حالت پنهان زیست[3] به حیات خود ادامه می‌دهند که به شرایط محیطی غیرقابل‌نفوذ بوده و اکسیژن قابل‌توجهی را برای فرایند تنفسی دریافت نمی‌کنند. در اراضی مرتعی مناطق نیمه‌خشک فعالیت نماتدها محدود به چند روز بعد از نزول باران است، که نماتدها را از حالت پنهان زیست بیدار می‌کند.



شکل ۹-۱۱ نماتدی که معمولاً در خاک یافت می‌شود (۱۲۰ برابر بزرگ شده است). بیشتر از ۱۰۰۰ گونه نماتد در خاک شناخته شده است. بیشتر نماتدها از باکتری‌ها و قارچ‌ها تغذیه می‌کنند، اما گونه های انگلی می‌توانند برای رشد گیاهان بسیار زیان‌آور باشند.

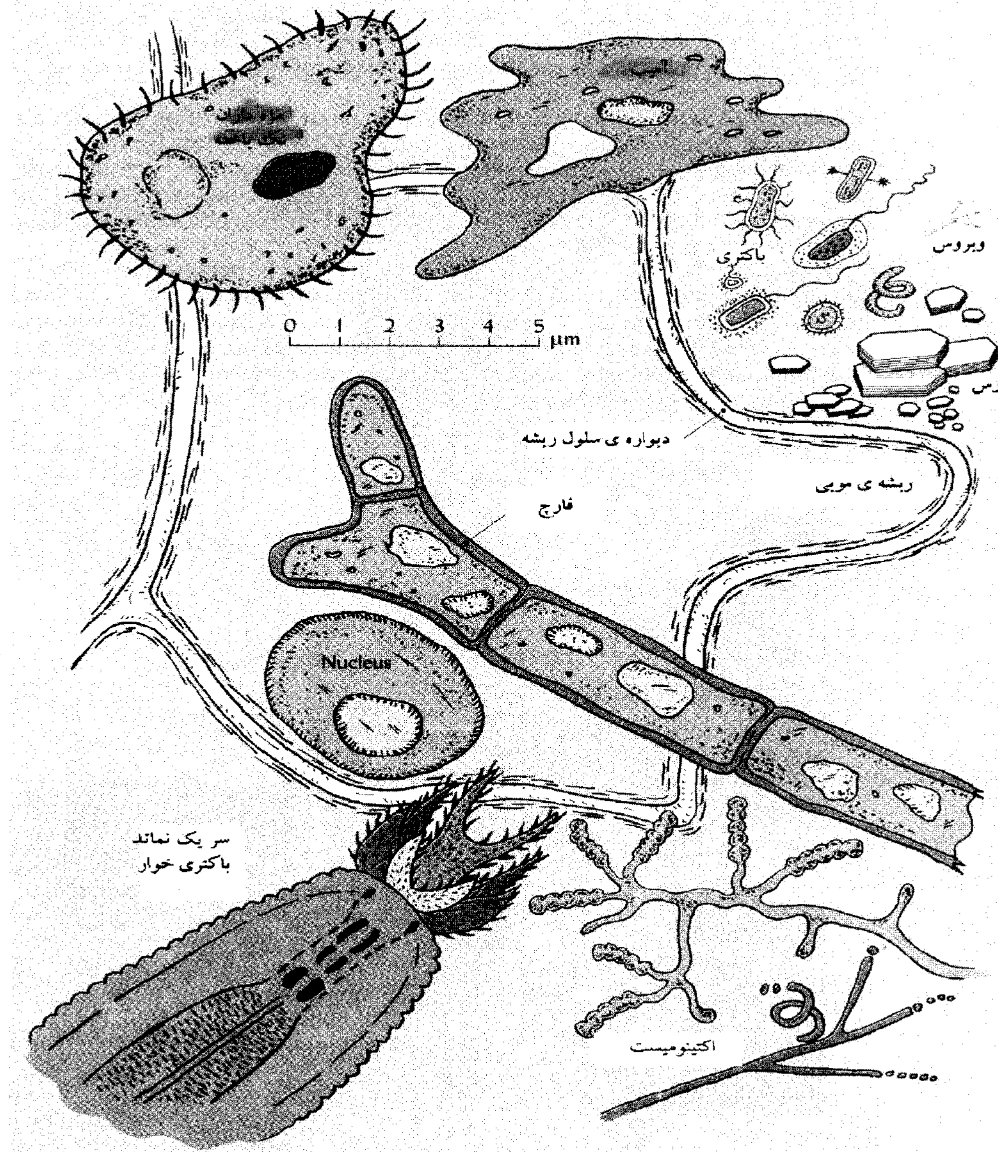
شکارکردن: نماتدها از گروه بسیار وسیعی تشکیل شده‌اند. اکثر نماتدها شکارچی سایر نماتدها، قارچ‌ها، باکتری‌ها، جلبک‌ها، تک‌یاخته‌گان و نوزاد حشرات می‌باشند. بنابراین نماتدهای شکارچی خاص به‌عنوان عوامل مبارزه‌ی زیستی برای حشرات آفت دارای منشاء خاکی مانند کرم ریشه‌ی ذرت (یک روش بسیار مناسب زیست‌محیطی در مقایسه با مصرف آفت‌کش‌های سمی) فروخته می‌شوند. یک نماتد باکتری‌خور در شکل ۱۰-۱۱ همراه با سایر ریزجانداران خاک در اندازه‌های مختلف نشان داده شده است. چرای نماتدها

---

1 - Threadworms
2 - Eel worms
3 - Cryptobiotic

می‌تواند تأثیر مشخصی بر رشد و فعالیت قارچ‌ها و باکتری‌ها داشته باشد. از آنجاکه یاخته باکتری‌ها نیتروژن بیشتری از آن‌چه نماتدها مصرف می‌کنند دارا است، فعالیت نماتدها می‌تواند چرخه و آزادشدن نیتروژن قابل‌استفاده گیاهان را سبب گردد که در بعضی بوم‌سامان‌ها حدود ۳۰ تا ٤۰ درصد نیتروژن آزاد شده را شامل می‌شود.

انگل نباتات: بعضی از نماتدها، به‌خصوص آن‌هایی که دارای جنس *Heterodera* می‌باشند می‌توانند ریشه‌ی تمام گیاهان را با سوراخ‌کردن به‌وسیله‌ی قطعات نیزه‌مانند دهانی خود مورد تهاجم قرار دهند. این جراحات سبب الودگی با عوامل بیماری‌زای ثانویه و رشد گره‌هایی بر روی ریشه گیاهان می‌شود. آلودگی‌های کم‌اهمیت نماتدها تقریباً در همه جا شایع بوده و معمولاً از نظرها پنهان می‌ماند گرچه آلودگی‌های شدیدتر از یک سطح آستانه سبب توقف شدید رشد می‌شود. نماتدهای تولیدکننده کیست (کیسه تخم[1]) آفت مهم لوبیا روغنی بوده و نماتدهایی که روی ریشه گیاهان گره ایجاد می‌کنند، آفت درختان میوه و خانواده گوجه‌فرنگی می‌باشند (شکل ۱۱-۱۱).



شکل ۱۰-۱۱ برداشتی از گروه‌های ریزجانداران معرف در خاک، که اندازه نسبی آن‌ها را نشان می‌دهد.

[1] - Cyst (egg – sac)

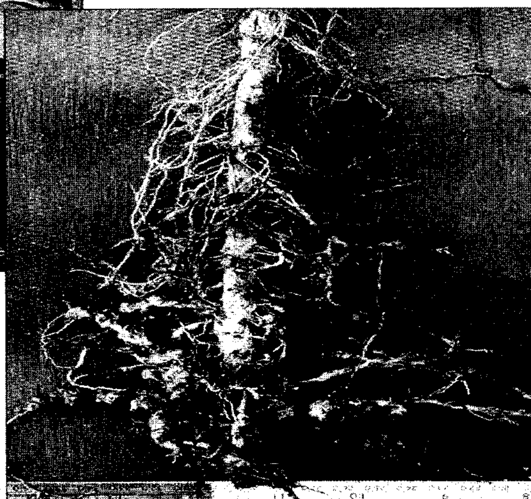
مبارزه با نماتدها: تا این اواخر روش اصلی مبارزه با نماتدهای انگل نباتات، برقراری تناوب طولانی با گیاهان غیرمیزبان (معمولاً ۵سال برای ازبین‌رفتن جمعیت نماتدهای انگل به‌میزان کافی لازم می‌باشد)، استفاده از ارقام گیاهان دارای مقاومت توارثی و ضدعفونی‌کردن خاک با پخش بخارات سمی مواد شیمیایی نماتدکش بود. استفاده از نماتدکش‌های خاکی، مانند متیل‌برومید، به‌خاطر اثرات محیطی نامطلوب به‌شدت قدغن گردیده است (بخش ۱۵-۱۱ را مشاهده کنید).

رهیافت‌های جدید کمتر خطرناک مبارزه با نماتدها شامل استفاده از پوست درختان سخت‌چوب در گیاهان گل‌خانه‌ای و کشت درهم محصولات حساس مزرعه‌ای با دو رقم کلزا (کانولا) و ماری‌گولد می‌باشد هر دو رقم شیرابه‌های ترشح می‌کنند که دارای خاصیت نماتدکشی می‌باشد. تلاش‌های برای ایجاد ارقام مقاوم به نماتدها در نباتاتی مانند سویا به‌عمل آمده است. معمولاً یک مجموعه از ارقام مختلف در سال‌های متوالی برای جلوگیری از افزایش جمعیت نماتدهای انگل کشت می‌شوند.

تک‌یاخته‌گان

تک‌یاخته‌گان موجودات تک‌یاخته‌ای متحرک می‌باشند که غذای خود را محاصره کرده و محبوس می‌کنند. آن‌ها متنوع‌ترین و پرتعدادترین ریزجانوران خاک می‌باشند (گرچه اغلب به‌صورت جانور طبقه‌بندی نشده و به‌صورت پروتیستا[1] طبقه‌بندی گردیده‌اند). شکل ۱۲-۱۱ و جدول ۲-۱۱ را مشاهده کنید. این تک‌یاخته‌گان به‌مراتب بزرگ‌تر از باکتری‌ها بوده و قطر آن‌ها در فاصله ۱۰۰-۶ میکرون قرار دارد. یاخته آن‌ها دارای دیواره یاخته‌ای واقعی نبوده، و مشخصاً دارای سازمانی بسیار پیچیده‌تر از یاخته باکتری‌ها می‌باشند. تک‌یاخته‌گان[2] خاک شامل آمیب‌ها[3] (که با انبساط و انقباض پاهای کاذب خود حرکت می‌کند)، مژه‌داران[4] (که با حرکت‌دادن ساختارهای مویی به‌حرکت در می‌آیند (شکل ۱۱-۱۱). و تاژک‌داران[5] (که با ضمایم تازیانه‌مانند که تاژک نامیده می‌شود حرکت می‌کنند).





شکل ۱۱-۱۱ (چپ)گیاهان تنباکو با توقف رشد در جلو عکس و با رشد زیاد در عقب عکس که هر دو مدیریت یکسانی را دریافت داشته‌اند. بررسی شبکه‌ی ریشه گیاه بدون رشد نشان داد که شدیداً به‌وسیله‌ی نماتدهای ایجادکننده‌ی گره در ریشه آلوده گردیده که سبب توقف ریشه‌ها و ایجاد تغییرشکل‌های گره‌مانند شده است.

1 - Protista
2 - Protozoa
3 - Amoeba
4 - Ciliata
5 - Flagellata

تک‌یاخته‌گان همانند نماتدها درمنافذ پر از آب داخل خاک شنا کرده و می‌توانند درصورت خشک‌شدن خاک و یا کمبود مواد غذایی وارد مرحله استراحت (کیست) شوند. بیشتر از ۳۵۰ گونه تک‌یاخته در خاک‌ها جدا شده‌اند، بعضی مواقع حدود ٤٠ تا ٥٠ دسته در یک نمونه خاک یافت می‌شود. وزن تک‌یاخته‌گان زنده در خاک سطحی در حد ۲۰۰-۲۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (جدول ۲-۱۱). تعداد قابل‌توجهی از امراض حیوانی و انسانی مربوط به آلودگی‌های تک‌یاخته‌گانی است که عمدتاً منشاء آبی (در مقابل خاکی) دارند. بیشتر تک‌یاخته‌گان خاکزی از باکترهای خاک تغذیه کرده و تأثیر بسیار زیادی بر این ریزگیاهان خاکی اعمال می‌کنند.

این موجودات معمولاً به بهترین وجه در خاک‌های مرطوب دارای تهویه خوب رشد نموده وتعداد آن‌ها در افق‌های سطحی بسیار زیاد است. برای تعقیب باکتری‌ها، بعضی از تک‌یاخته‌گان خاکزی قادرند از منافذی به کوچکی ۱۰ میکرون خود را عبور دهند، تک‌یاخته‌گان در محدوده‌ی اطراف ریشه گیاهان (ریزوسفر) مخصوصاً فعال می‌باشند. نقش اصلی آن‌ها بر روی تجزیه‌ی ساده‌ی آلی و آزادشدن عناصر غذایی از طریق تأثیر آن‌ها بر جمعیت باکتریایی خاک می‌باشد.

۷-۱۱ ریشه‌ی گیاهان عالی

گیاهان عالی انرژی آفتاب را ذخیره کرده و تولیدکنندگان اصلی مواد آلی (شکل۲-۱۱) می‌باشند. ریشه آن‌ها در خاک رشد کرده و از بین می‌رود و در این کتاب به‌عنوان موجود خاکزی تقسیم‌بندی شده است. این ریشه‌ها به‌طور شاخص حدود ۱ درصد حجم خاک رااشغال کرده و مسوول ۱/۴ تا ۱/۳ تنفس رخداده در خاک است. ریشه‌ها معمولاً برای کسب اکسیژن با موجودات دیگر در رقابت می‌باشند، اما آن‌ها اکثر کربن و انرژی مورد نیاز جوامع گیاهی و جانوری خاک را تأمین می‌کنند. فعالیت ریشه گیاهان معمولاً در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها مؤثر بوده و اثرات خاص وابسته به نوع خاک و گیاه مورد نظر می‌باشد (بخش ۸-۷ را مشاهده کنید). همان‌طورکه بعدها خواهیم دید، ریشه‌های گیاهان با سایر جانداران خاک از راه‌های مختلف و پیچیده در تعامل می‌باشد.

ریخت‌شناسی ریشه

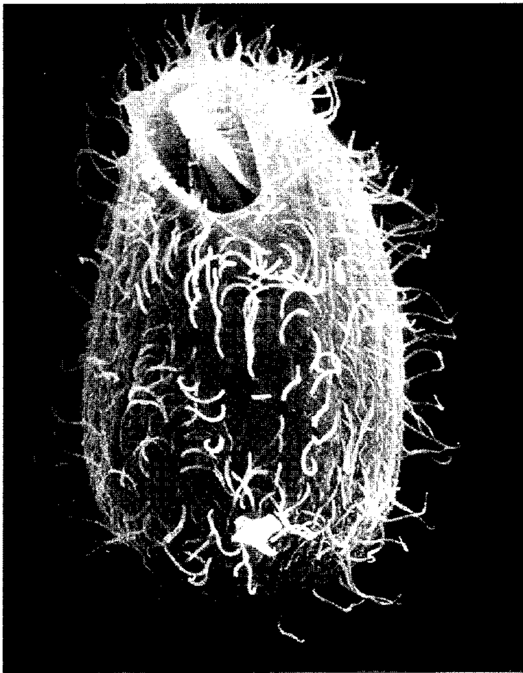
بسته به اندازه آن‌ها، ریشه‌ها می‌توانند به‌عنوان، متوسط[1] و ریزجانداران[2] مورد ملاحظه قرار گیرند. ریشه‌های تغذیه‌کننده‌ریز دارای قطری در حد ۱۰۰ تا ٤٠٠ میکرون می‌باشند، در صورتی‌که ریشه‌های مویی دارای قطری فقط در حدود ۱۰ تا ٥٠ میکرون بوده که از نظر اندازه شبیه رشته قارچ‌های میکروسکوپی می‌باشند، ریشه‌های مویی بیرون‌زدگی درازشده یک یاخته لایه‌ی خارجی (اپی‌درم) می‌باشند (شکل ۱۳-۱۱ را مشاهده کنید).

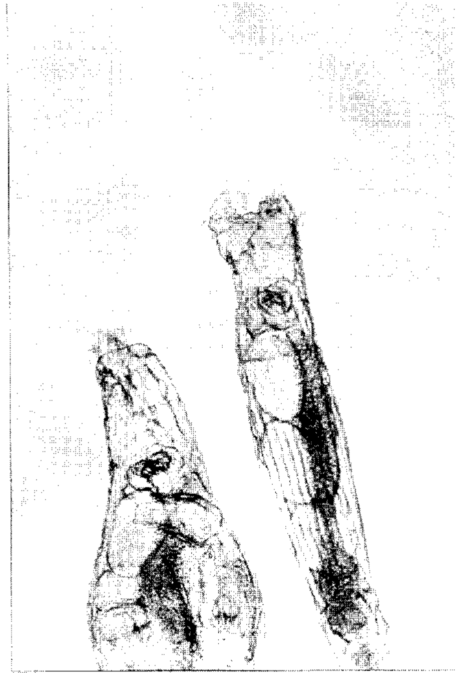
یکی از وظایف ریشه‌های مویی درجا نگه‌داشتن ریشه هنگام تلاش در بازکردن راه خود در داخل خاک می‌باشد. نقش دیگر افزایش سطح ریشه‌ها برای جذب آب و عناصر غذایی از محلول خاک است.

ریشه‌ها با تشکیل و توسعه یاخته‌های جدید در محل زایشی ریشه (لایه مریستم) که درست قبل از نوک ریشه قرار گرفته رشد می‌کنند. نوک ریشه به‌وسیله‌ی یک کلاهک محافظ پوشیده شده است. این کلاهک از یاخته‌های قابل‌انبساط تشکیل یافته که با نفوذ ریشه‌ها به‌داخل خاک آن‌ها جدا می‌شوند. ریخت‌شناسی ریشه تحت تأثیر نوع نبات و شرایط خاک است. برای مثال، ریشه‌های نازک در مواضعی که دارای غلظت‌های بالای عناصر غذایی می‌باشند توسعه می‌یابند. تشکیل ریشه‌های موبین براثر تماس با ذرات خاک و یا تأمین عناصر اندک غذایی تحریک می‌شود. بسیاری از ریشه‌ها در پاسخ به وزن مخصوص ظاهری بالا و غلظت زیاد آلومینیوم در محلول خاک ضخیم و خشبی می‌شوند (فصل ٤ و ۹ را مشاهده کنید).

ریشه‌های زنده با فشارآوردن به داخل ترک‌های موجود و ایجاد منافذ جدید دراثر رشد خود سبب تغییر فیزیکی خاک می‌شوند. اندازه‌ی شکاف‌های باریک اولیه با توسعه و رشد ریشه‌ها افزایش می‌یابد. ریشه گیاهان با برداشت رطوبت از خاک پیوندهای آلی-کانی را تثبیت کرده، سبب انقباض و ترک‌خوردن خاک گردیده و در نتیجه خاکدانه‌سازی را تقویت می‌کند. مواد مترشحه ریشه سبب حفظ هزاران نوع از ریزجانداران خواهد شد، که آن‌ها نیز به ثبات خاکدانه‌ها کمک خواهند کرد. به‌علاوه، وقتی ریشه‌ها نابود شده و مورد تجزیه قرار می‌گیرند، مواد لازم را برای ساختن هموس، نه‌تنها در چند سانتی‌متری فوقانی، بلکه در اعماق بیشتر خاک فراهم می‌آورند.

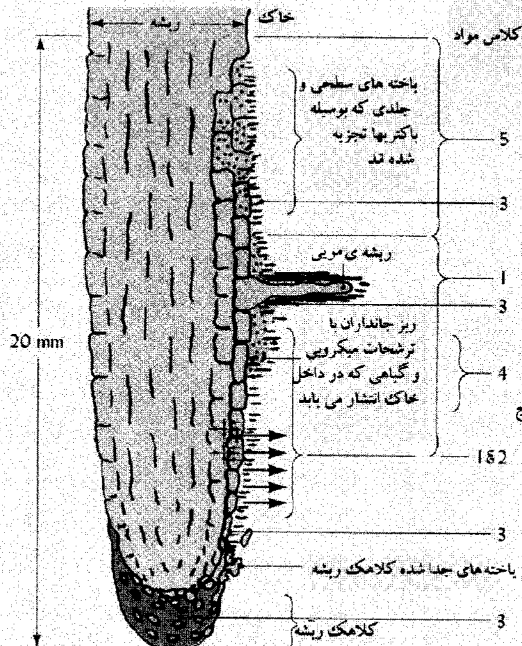
---
1 - Mesoorganism
2 - Microorganism


(الف)


(ب)

شکل ۱۲-۱۱ دو ریزجانور شاخص که در خاک یافت می‌شوند. (الف) ریزعکس الکترونی ردیابی یک تک‌یاخته مژه‌دار **Glaucoma scintillaus**. ریزعکس دو گونه روتیفر، ***Rotaria rotatoria*** (نوع کوتاه و ضخیم سمت چپ) و ***Philodina, acuticornus*** (نازک، سمت راست)


(الف)



(ب)

شکل ۱۳-۱۱ (الف) یک عکس از انتهای ریشه که تشریح می‌کند چگونه ریشه‌ها در داخل خاک انتشار یافته و بر یاخته‌های ریشه تاکید دارد که در داخل آن‌ها آب و مواد غذایی به بالای نبات جریان می‌یابند (ب) شکلی از ریشه که منشاء مواد آلی را در ریزوسفر نشان می‌دهد.

مقدار بافت گیاهی آلی اضافه‌شده

اهمیت پس‌ماندهای گیاهی برای حفظ ماده‌ی آلی خاک اغلب کمتر مورد نظر بوده است. در چمن‌زارها آتش‌سوزی ممکن است اکثر زیتوده را در سطح زمین از بین ببرد بنابراین شبکه‌ی عمیق متراکم ریشه منبع عمده‌ی ماده‌ی آلی اضافه‌شده به این خاک‌ها می‌باشد. در درخت‌کاری‌ها و جنگل‌های طبیعی بیشتر از نصف زیتوده تولیدشده به‌صورت ریشه درختان می‌باشد. در خاک‌های زراعی، جرم ریشه‌های باقی‌مانده در خاک بعد از برداشت محصول معمولاً ۴۰-۱۵ درصد محصول در سطح زمین است. اگر رقم متوسط ۲۵٪ در نظر بگیریم، می‌توان انتظار داشت که یک محصول خوب یولاف، ذرت و نیشکر به ترتیب حدود ۲۵۰۰، ۴۵۰۰ و ۸۵۰۰ کیلوگرم‌درهکتار پس‌ماندهای ریشه گیاهان را برجای گذارند. جرم ترکیبات آلی ناشی از ریشه‌ی گیاهان وقتی اثرات ریزوسفر (که در بخش‌های زیر بررسی خواهد شد) مورد ملاحظه قرار گیرد حتی از این ارقام نیز بیشتر خواهد شد.

ریزوسفر

منطقه‌ای از خاک که به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای تحت تأثیر ریشه‌های زنده قرار دارد ریزوسفر نامیده شده و معمولاً تا حدود ۲ میلی‌متر خارج از سطح ریشه نبات توسعه دارد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی این منطقه می‌تواند از کل خاک متفاوت باشد. اسیدیته خاک در ریزوسفر ممکن است ۱۰ بار بیشتر و یا کمتر از کل خاک باشد. ریشه‌ها در این منطقه از یک طرف با خارج‌ساختن عناصر غذایی محلول و از طرف دیگر با محلول‌نمودن عناصر غذایی موجود در کانی‌ها در تأمین عناصر غذایی بسیار مؤثر می‌باشند. با این طریق و دیگر راه‌ها ریشه‌ها در تغذیه‌ی میکروب‌های خاک مؤثرند، درست به‌همان ترتیب که میکروب‌های خاک نیز در عناصر غذایی قابل‌استفاده ریشه گیاه مؤثر می‌باشد.

نهشته‌های ریزوسفر[1] : مقادیر قابل‌توجهی حداقل از سه نوع ترکیبات آلی متنوع از سطح ریشه‌های جوان گیاهان ترشح می‌شوند (شکل ۱۳-۱۱) که عبارتند از:

(۱) ترکیبات آلی با وزن مولکولی اندک که از یاخته‌های ریشه ترشح یافته و شامل اسیدهای آلی، قند، اسیدهای آمینه و ترکیبات فنلی می‌باشد. بعضی از این مواد مترشحه ریشه، به‌خصوص فنل‌ها، اثرات تنظیم رشد بر سایر گیاهان و ریزجانداران خاک در پدیده‌ای به‌نام دگرآزاری (آللوپاتی[2]) (فصل ۱۰-۱۲ را مشاهده کنید) اعمال می‌کنند.

(۲) فضولات[3] دارای وزن مولکولی زیاد که به‌وسیله‌ی یاخته‌های کلاهک ریشه و یاخته‌های سطح رویی در منطقه‌ی رأس ریشه ترشح شده، و وقتی با یاخته‌های میکروبی و ذرات رس مخلوط شوند موسیجل[4] نامیده می‌شوند. به‌نظر می‌رسد این موسیجل که دارای چندین نقش مفید باشد: سبب روغن‌کاری ریشه‌ها هنگام حرکت آن‌ها در داخل خاک می‌شود؛ سبب تماس هرچه بیشتر ریشه و خاک به‌خصوص در خاک‌های خشک، که اندازه ریشه‌ها انقباض پیدا کرده و تماس ضعیفی با خاک دارند می‌گردد(شکل۳۸-۵ را مشاهده کنید)؛ سبب حفاظت ریشه از مواد شیمیایی سمی در خاک‌ها می‌شود؛ و یک محیط مطلوب را برای رشد ریزموجودات ریزوسفر فراهم می‌کند.

(۳) یاخته‌های کلاهک ریشه و یاخته‌های سطحی با رشد ریشه گیاهان مداوماً پوسته‌اندازی نموده و محتوی ریشه خود را به‌داخل ریزوسفر ریخته و آن‌را با بافت‌های یاخته‌ای مختلف غنی می‌سازند. روی‌هم‌رفته ممکن است این نهشته‌های ریزوسفری ۲ تا ۳۰ درصد وزن کل خشک تولیدشده به‌وسیله‌ی گیاهان جوان را تشکیل دهند. بوته‌های محصولات دانه‌ای و سبزی‌ها ۵ تا ۴۰ درصد مواد آلی دریافت شده به‌وسیله‌ی ساقه‌های خود را ترشح می‌کنند. وقتی گیاهی با دقت در یک خاک سست با ریشه بیرون آورده می‌شود، ترشحات ریشه یک لایه نازک خاک را در مجاورت ریزوسفر به‌صورت سپری به دور انتهای ریشه‌های در حال رشد فعال، ایجاد می‌کند(شکل ۱۴-۱۱ را مشاهده کنید). در گیاهان یکساله، ممکن است میزان مواد آلی که به‌وسیله‌ی ریزوسفر در طول فصل رشد از دست می‌رود از۲ برابر مقدار باقی‌مانده در نظام ریشه در پایان فصل رشد بیشتر باشد. نهشته‌های ریزوسفر با افزایش سن نبات کاهش یافته، اما با تنش‌های خاکی، مانند تراکم و کمبود عناصر غذایی، افزایش می‌یابد.

به‌دلیل ترشحات مواد کربن‌دار و عوامل خاص رشد (مانند ویتامین‌ها و اسید آمینه‌ها) تعداد میکروب‌ها در ریزوسفر ۲ برابر داخل خاک بوده (بعضی مواقع به آن نسبت R/S می‌گویند که از ۲ تا ۱۰ تغییر می‌کند).

---

[1] - Rhizodeposition
[2] - Allelopathy
[3] - mucilage
[4]- mucigel

فرایندهایی که تشریح گردید روشن می‌کنند که چرا ریشه گیاهان از مهم‌ترین جانداران بوم‌سامان خاک می‌باشند.



شکل۱۴-۱۱ منطقه‌ای از خاک در ۱ تا ۲ میلی‌متری ریشه گیاهان زنده، ریزوسفر نامیده می‌شود. این منطقه از ترکیبات آلی که به‌وسیله‌ی ریشه‌ها ترشح می‌شود بسیار غنی می‌باشد. این لعاب‌ها و ریزجانورانی که در روی آن یافت می‌شوند باعث می‌گردند که ریزوسفر خاک به ریشه بعضی از این گندم‌ها همانند سپری بچسبد (ریشه‌ها در سمت راست، به پیکان توجه کنید) ریشه‌ها در قسمت چپ عکس در آب شسته شده و خاک ریزوسفر جدا گردیده است در زمینه پارچه‌ی حوله‌ای مشاهده می‌شود.

۸-۱۱ جلبک‌های خاک

همانند گیاهان عالی، جلبک‌ها شامل یاخته‌های (ایوکاریوتیک[1]) بوده که دارای هسته در داخل یک غشاء هسته‌ای می‌باشند. (موجوداتی که قبلاً جلبک‌های آبی – سبز نامیده می‌شدند پروکاریوت[2] بوده و بنابراین با باکتری‌ها مورد ملاحظه قرار می‌گیرند) به‌علاوه، همانند گیاهان عالی جلبک‌ها به سبزینه (کلروفیل) مجهز بوده که آن‌ها را قادر می‌سازد فرایند سوخت‌وساز نوری (فتوسنتز) را انجام دهند. جلبک‌ها، به‌عنوان خودپرورهای نوری[3] نیازمند نور بوده و بنابراین عمدتاً در نزدیکی سطح خاک یافت می‌شوند. (شکل۱۵-۱۱). بعضی از گونه‌ها همچنین می‌توانند به‌صورت غیرخودپرور در تاریکی ایفای نقش کنند. بعضی از گونه‌ها غیرخودپرور نوری بوده، به این معنی که از نور برای انرژی مورد نیاز استفاده کرده، اما نمی‌توانند تمام مولکول‌های آلی مورد نیاز خود را بازسازی کنند(جدول ۳-۱۱).

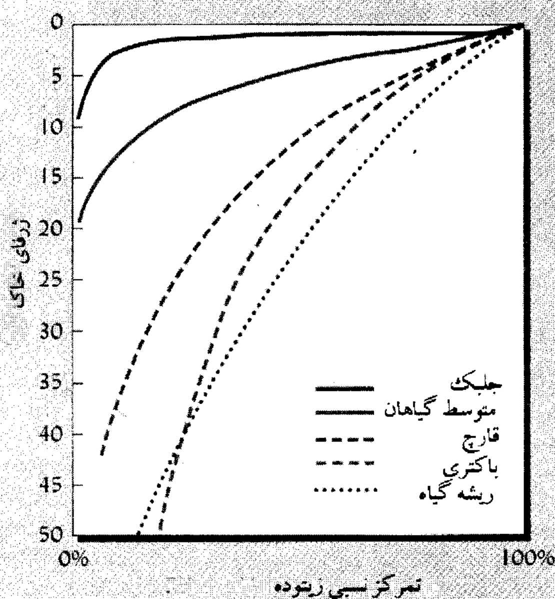
اندازه‌ی اکثر جلبک‌ها در فاصله ۲ تا ۲۰ میکرون متغیر است. بسیاری از جلبک‌ها متحرک بوده و در آب منافذ خاک به اطراف شنا می‌کنند. بعضی از آن‌ها از تاژک (دمهای شلاق‌مانند) استفاده می‌کنند. اکثر جلبک‌ها در شرایط مرطوب رشد می‌کنند، اما بعضی نیز در محیط‌های سرد و گرم بیابانی مهم می‌باشند. بعضی مواقع رشد جلبک‌ها چنان شدید است که سطح خاک به‌وسیله‌ی لایه‌ای سبز و یا قهوه‌ای پوشیده می‌شود. بعضی از جلبک‌ها (و همین‌طور سیانوباکتری‌های خاص) ایجاد گلسنگ می‌کنند که مشارکت همزیست با قارچ‌ها می‌باشد. این امر در کلنی‌شدن سنگ و سایر محیط‌های فاقد ماده‌ی آلی بسیار مهم است. زمین‌های لخت در بیابان‌ها به‌وسیله‌ی پوسته‌ی جلبک‌ها پوشیده شده است که سبب کاهش تبخیر و فرسایش خاک گشته اما به لگدکوب شدن به‌وسیله‌ی احشام و یا خودروهای ویژه بیرون از جاده بسیار حساس می‌باشند.

---

[1] - Eukaryotic
[2] - Prokaryote
[3] - Photoautotrophs

صدها گونه جلبک از خاک‌ها جدا و شناسایی شده‌اند، اما شمار اندکی از آن‌ها در بیشتر خاک‌های سرتاسر جهان دارای اهمیتی زیاد می‌باشند. جلبک‌های خاک در سه دسته عمومی قرار می‌گیرند که عبارتند از: (۱) سبز، (۲) سبز- زرد، و (۳) دیاتومه‌ها. جلبک‌های سبز در خاک‌های مرطوب اما غیرغرقابی اسیدی بسیار فراوانند، دیاتومه‌ها اغلب در خاک‌های خنثی تا قلیایی دارای تهویه خوب. باغچه‌های قدیمی غنی از ماده‌ی آلی فراوان می‌باشند. تعداد جلبک‌های سبز معمولاً از دیاتومه‌ها بیشتر است.

جمعیت جلبک‌ها معمولاً از یک تا ده میلیارد در یک مترمربع خاک با عمق ۱۵ سانتی‌متری متغییر است(۱۰ هزار تا ۱۰۰ هزار یاخته در گرم). جرم جلبکهای زنده در خاک‌ها ممکن است از ۱۰ تا ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار تغییر کند (جدول ۲-۱۱). علاوه بر تأمین مقدار قابل‌توجهی از ماده‌ی آلی در بعضی از خاک‌های حاصل‌خیز به‌وسیله‌ی جلبک‌ها بعضی از انواع خاص آن‌ها پلی‌ساکارید ترشح می‌کنند که اثرات بسیار مطلوبی بر خاکدانه‌سازی دارند (فصل ۱۰-٤ را مشاهده کنید).



شکل ۱۵-۱۱ توزیع قایم نسبی گروه‌های مختلف موجودات خاک در یک خاک معرف علف‌زار. تراکم نشان داده شده برای هرگروه به‌طور نسبی در ارتباط با حداکثر تراکم آن گروه می‌باشد. تراکم در تمام موجودات حدود ۱۰۰ درصد حداکثر مقدار درسطح خاک می‌باشد. اما زیتوده‌ی مطلق (نشان داده نشده است) در بین گروه‌ها فرق می‌کند برای مثال، زیتوده واقعی در گرم خاک در قارچ‌ها بسیار بیشتر از میانه جانوران (مزوفون) می‌باشند.

۹-۱۱ قارچ‌های خاک

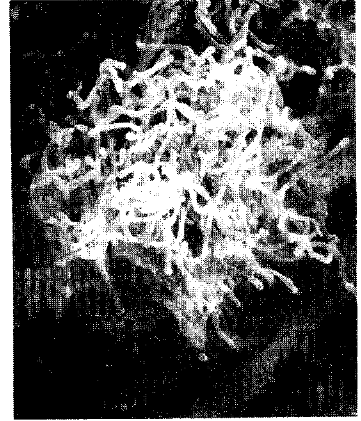
قارچ‌های خاک از گروه‌های فوق‌العاده متنوعی از ریزجانداران تشکیل شده‌اند، حدود ده‌ها هزار گونه در خاک مشخص شده‌اند که ۱۷۰ جنس را شامل می‌شود. حدود ۲۵۰۰ گونه فقط در یک محل مشخص شده‌اند. دانشمندان معتقد هستند حداقل یک میلیون گونه قارچ ناشناخته در خاک در انتظار شناسایی می‌باشند. اگرچه تعداد آن‌ها تا حدی کمتر از باکتری‌ها است، اما اندازه نسبتاً بزرگ آن‌ها سبب غالب بودن زیتوده و فعالیت سوخت‌وساز آن‌ها در بسیاری از خاک‌ها می‌باشد. زیتوده‌ی آن‌ها معمولاً از ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰ کیلوگرم در ۱۵ سانتی‌متر فوقانی در یک هکتار خاک زراعی متفاوت است (جدول۲-۱۱).

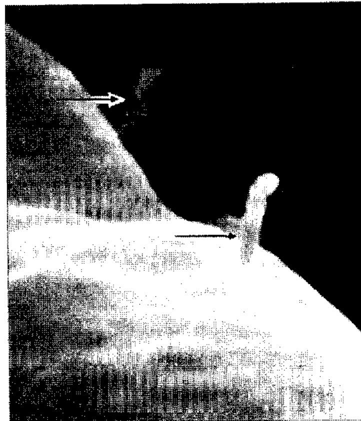
قارچ‌ها همانند گیاهان عالی از یاخته‌های هسته‌دار دارای غشاء و دیواره‌های یاخته‌ای برخوردارند (ایوکاریوتیک). قارچ‌ها غیرخودپرورند، و این بدان معنی است که برای تأمین انرژی و کربن مورد نیاز خود وابسته به گیاهان زنده و یا مواد آلی مرده می‌باشند. قارچ‌ها موجوداتی هوازی می‌باشند، گرچه تعدادی از آن‌ها می‌توانند غلظت‌های نسبتاً پایین اکسیژن و مقادیر بالای گازکربنیک را که در خاک‌های مرطوب متراکم یافت می‌شود، تحمل کنند. اگر بخواهیم دقیق‌تر صحبت کنیم قارچ‌ها همگی ذره‌بینی (میکروسکوپی) نیستند، زیرا بعضی از این موجودات مانند قارچ‌های خوراکی چنان ساختمان درشتی تشکیل داده که بدون نیاز به درشت‌نمایی به آسانی قابل‌مشاهده می‌باشند.

برای سهولت بحث، ممکن است قارچ‌ها به سه دسته تقسیم شوند که عبارتند از : مخمرها[1]، کفک‌ها[2]، و قارچ‌های عالی[3]. مخمرها که موجوداتی تک‌یاخته‌ای می‌باشند عمدتاً در خاک‌های ماندابی با شرایط غیرهوازی زندگی می‌کنند. کفک‌ها و قارچ‌های خوراکی به‌عنوان

[1] - Yeasts
[2] - Molds
[3] - Mushroom

قارچ‌های رشته‌ای در نظر گرفته می‌شوند، که با رشته‌هایی از یاخته‌های منشعب نخ‌مانند طولانی مشخص می‌شوند. هر یک از رشته‌های قارچی جداگانه که ریسه[1] نامیده می‌شوند (شکل a۱۶-۱۱ را مشاهده کنید)، اغلب به شکل توده‌ای به دورهم پیچیده شده و شبیه یک ریسمان بافته به‌نظر می‌آیند. این توده از ریسه‌ها، میسلیوم[2] نامیده می‌شود. میسیلیوم قارچ‌ها اغلب به‌صورت یک رشته سفید و یا رنگی نازک که به‌داخل گیاهان در حال پوسیدن نفوذ می‌کند قابل‌مشاهده می‌باشد (شکل ۱۷-۱۱). قارچ‌های رشته‌ای، به‌وسیله‌ی اسپر یا هاگ تکثیر پیدا می‌کنند. که اغلب بر روی هاگدان‌ها تشکیل می‌شوند و ممکن است ذره‌بینی (مثل کفک‌ها) و یا درشت (ماکروسکپی) باشند (قارچ‌های عالی).


(ج)


(ب)


(الف)

شکل ۱۶-۱۱ ریزعکس‌های الکترونی ردیابی[3] قارچ‌ها، باکتری‌ها و اکتینومیست. (الف) ریسه‌ی قارچ‌ها همراه با باکتری‌های میله‌ای شکل بسیار کوچک‌تر (ب) باکتری‌های میله‌ای به ریشه موبین گیاه چسبیده است (ج) نخ‌های اکتینومیست.



شکل ۱۷-۱۱ رشته‌های نازک سفید (نزدیک انگشتان) در این عکس میسیلیوم قارچی در پس‌ماندهای گیاهی در حال تجزیه می‌باشد. سایر رشته‌ها (سمت راست در بالای عکس) ریشه گیاهان است.

کفک‌ها

کفک‌ها مشخصاً قارچ‌های نخی شکل نازک ذره‌بینی و یا نیمه‌ذره‌بینی بوده، در تجزیه‌ی مواد آلی نقش بسیار مهم‌تری از قارچ‌های عالی دارند. کفک‌ها در خاک‌های اسیدی، خنثی و یا قلیایی رشدی بسیار دارند. pH پایین به‌جای این‌که زیان‌آور باشد برای برخی از گونه‌ها مطلوب است (شکل ۱۸-۹ را مشاهده کنید) بنابراین آن‌ها در خاک‌های سطحی با میزان اسیدیته‌ای که باکتری‌ها و اکتینومیست‌ها

---

[1] - hyphe
[2] - mycelium
[3] - Scanning electron micrograph

رقابت متوسطی دارند، در حد وفور یافت می‌شوند، توانایی کفک‌ها در تحمل pH پایین به‌خصوص در تجزیه پس‌ماندهای گیاهی در خاک‌های اسیدی جنگلی، دارای اهمیت است.

بسیاری از جنس‌های کفک‌ها در خاک یافت می‌شوند، چهار گونه‌ی خیلی معمول عبارتند از پنیسیلیوم[1]، موکور[2]، فوزاریوم[3] و اسپرژیلوس[4]. گونه‌هایی از این جنس‌ها در اکثر خاک‌ها یافت می‌شوند. شرایط خاک مشخص می‌کنند که کدام گونه غالب می‌باشد. به‌نظر می‌رسد پیچیدگی ترکیبات آلی که مورد حمله قرار می‌گیرند که تعیین‌کننده حضور کفک‌های خاص می‌باشد. تعداد کفک‌ها با شرایط خاک بسیار در حال نوسان است. شاید ۱۰۰۰۰۰ تا یک میلیون در هر گرم خاک خشک (۱۰ تا ۱۰۰ میلیارد در هر مترمربع) بیانگر مقدار کم و بیش عادی جمعیت کفک‌ها باشد.

قارچ‌های عالی[5]

این قارچ‌ها، در جاهایی‌که رطوبت و ماده‌ی آلی خاک فراوان است، همراه با جنگل و گیاهان چمنی می‌باشد. گرچه اکثر گونه‌های قارچ‌های عالی برای انسان‌ها سمی است، برخی از آن‌ها خوراکی بوده و بعضی بومی شده‌اند، قارچ‌های خوراکی در غارها و خانه‌های طراحی شده‌ی خاص که مواد آلی کمپوست شده (به‌خصوص پهن‌اسبی) منبع غذایی آن‌ها را تشکیل می‌دهد، پرورش می‌یابند.

اندام هاگ‌زای هوایی اکثر قارچ‌های عالی بخش کوچکی از کل موجود می‌باشد. شبکه‌ی گسترده‌ای از ریسه‌ها به‌داخل خاک و یا بقایای ماده‌ی آلی نفوذ می‌یابد. در حالی‌که قارچ‌های عالی به گستردگی کفک‌ها توزیع نیافته‌اند، اما به‌خاطر تجزیه‌ی بافت‌های چوبی و همزیستی بعضی از آن‌ها با ریشه‌ی گیاهان این قارچ‌ها بسیار مهم می‌باشند(به بخش میکوریزا که به‌دنبال می‌آید مراجعه کنید).

فعالیت قارچ‌ها

قارچ‌ها به‌عنوان تجزیه‌کنندگان مواد آلی در خاک‌ها بسیار متنوع بوده و شاید پایدارترین گروه باشند. سلولز، نشاسته، صمغ‌ها، لیگنین و همین‌طور پروتیین‌ها و قندها که حاصل سوخت‌وساز ساده‌اند، درمعرض تهاجم آن‌ها می‌باشند. در تأثیر برفرایند هموسی‌شدن (فصل۹-۱۲) و ثبات خاکدانه‌ها (فصل ۱۱-٤)، قارچ‌ها نقش‌هایی مهم ایفا می‌کنند، قارچ‌ها در لایه‌های فوقانی خاک‌های جنگلی و همین‌طور در خاک‌های خیلی اسیدی شنی معمولاً غالب می‌باشند. آن‌ها همین‌طور که بیشترین سهم را در تجزیه‌ی پس‌ماندها در بسیاری از خاک‌های تحت کشت به عهده دارند.

قارچ‌ها از آن‌جاکه بخش بزرگی از مواد آلی مورد سوخت‌وساز را به بافت‌های خود تبدیل می‌کنند از باکتری‌ها کاراتر می‌باشند. ممکن است حدود ۵۰ درصد از موادی که به‌وسیله‌ی قارچ‌ها تجزیه می‌شوند به بافت قارچ‌ها تبدیل شود، این رقم درباکتری‌ها ۲۰ درصد می‌باشد. حاصل‌خیزی خاک تا حد زیادی وابسته به چرخه‌ی عناصر غذایی به‌وسیله‌ی قارچ‌ها می‌باشد، زیرا پس از توقف فعالیت باکتری‌ها و اکتینومیست‌ها در تجزیه‌ی مواد آلی پیچیده، فعالیت قارچ‌ها شروع می‌شود. شخم‌آیی خاک از تثبیت ساختمان آن به‌وسیله‌ی ریسه قارچ‌ها سود می‌برد (شکل ۲۸-٤). چرخه پاره‌ای از عناصر غذایی و فعالیت‌های بوم‌شناسی قارچ‌های خاک با ایجاد حلقه‌ی پریان[6] که به‌طور معمول در چمن‌ها در اول بهار دیده می‌شوند به آسانی قابل‌مشاهده است (شکل ۱۸-۱۱).

افزون بر تجزیه‌ی پس‌ماندهای گیاهی و ایجاد هموس، سایر فعالیت‌های متعدد قارچ‌ها اثر مهمی بر زیست‌بوم خاک دارند. بعضی قارچ‌ها شکارچی حیوانات خاکزی می‌باشند. برای مثال، گونه‌های خاصی حتی نماتدها را به دام می‌اندازند (شکل ۱۹-۱۱را مشاهده کنید). قارچ‌های خاک می‌توانند ترکیبات آلی پیچیده‌ی متنوع را علاوه بر آن‌ها که همراه هموس خاک هستند، مصنوعاً بازسازی کنند. از یک قارچ خاک جنس پنی‌سیلیوم بود که اولین داروی آنتی‌بیوتیک یعنی پنی‌سیلین به‌دست آمد. این ترکیبات با کشتن باکتری‌ها احتمالاً باعث می‌شوند که قارچ‌ها ریزجانداران رقیب را از پای در می‌آورند.

متاسفانه تمام ترکیبات تولیدشده به‌وسیله‌ی قارچ‌های خاک برای انسان و گیاهان عالی مفید به‌نظر نمی‌رسند. تعداد قلیلی از قارچ‌ها مواد شیمیایی سموم قارچی(میکوتوکسین[7]) ایجاد می‌کنند که برای گیاهان و حیوانات (از جمله انسان‌ها) بسیار سمی می‌باشند. یک

1 - *Penicillium*
2 - *Mucor*
3 - *Fusarium*
4 - *Aspergillus*
5 - Mushroom fungi
6 - Fairy ring
7 - Mycotoxins

نمونه‌ی مهم تولید افلاتوکسین بسیار سرطان‌زا به‌وسیله‌ی قارچ‌های گونه *Aspergillus flavus* است که روی دانه‌ی ذرت و بادام‌زمینی، به‌خصوص هنگامی‌که این بذور در معرض خاک و رطوبت قرار می‌گیرند رشد می‌کنند. سایر قارچ‌ها ترکیباتی تولید می‌کنند که به آن‌ها امکان می‌دهد بافت‌های گیاهان عالی را به تسخیر خود در آورده و امراض خطرناک گیاهی را مانند پژمردگی (ورتیسلیوم[1]) و پوسیدگی ریشه (ریزکتونیا[2]) ایجاد کنند.

از طرف دیگر تلاش‌های در دست انجام است که توان بعضی از قارچ‌ها (مانند بواریا[3]) را به‌عنوان عوامل مبارزه با بعضی از حشرات و عنکبوت‌ها که سبب بروز خسارت در گیاهان عالی می‌شوند افزایش دهند. این مثال‌ها در واقع به اثرات مجموعه‌ی پیچیده فعالیت‌های قارچ‌ها در خاک اشارت دارد.

قارچ ریشه (میکوریزا[4])

یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های اقتصادی و زیست‌بوم قارچ‌های خاک، سودمندبودن دوجانبه (همزیستی) و همکاری بین قارچ‌های خاص و ریشه گیاهان عالی می‌باشد. این همکاری میکوریزا نامیده می‌شود. واژه‌ای که به‌معنی قارچ ریشه می‌باشد. میکوریزا هنگامی شکل می‌گیرد که قارچ‌های خاص ریشه گیاهان را در فرایندی که به ظاهر بسیار شبیه به آلوده‌شدن به‌وسیله‌ی قارچ‌های بیماری‌زاست به تسخیر در می‌آورند. هرچند در همکاری میکوریزا، قارچ‌ها و گیاهان چنان ظاهراً دچار تحول شده‌اند که هر دو طرف از این ارتباط سود می‌برند. در واقع در یک نظام زیست‌بوم، بسیاری از گیاهان کاملاً وابسته به روابط قارچ ریشه بوده و نمی‌توانند بدون آن زنده بمانند. قارچ ریشه‌ها برای اکثر گونه‌های گیاهی، از جمله گیاهان زراعی، قاعده اصلی بوده و استثنا نمی‌باشد.





شکل ۱۸-۱۱ یک «حلقه‌ی پریان» از رشد قارچ‌ها و اندام‌های گلدهی قارچ‌ها (قارچ‌های عالی در عکس درشت). وقتی قارچ‌های حلقه‌ی پریان (معمولاً گونه‌های *Marasmius spp*) برگ و پس‌مانده‌های متراکم علف‌ها را مورد سوخت‌وساز قرار می‌دهند، سبب آزادشدن نیتروژن اضافی و ایجاد رنگ سبز تند حاکی از رشد چمن می‌باشد. بعدها باکتری‌ها سبب تجزیه‌ی قارچ‌های مسن و مرده شده و سبب تولید دوباره‌ی نیتروژن می‌گردند. این قارچ ماده‌ای شیمیایی ترشح می‌کند (به‌نظر می‌رسد سیانید هیدروژن باشد) که برای خود آن‌ها سمی است. بنابراین هر نسل باید در خاک فاقد قارچ رشد نموده و یک حلقه گسترده‌تر از قارچ‌ها و علفهای سبز تیره تولید کند. چمن در وسط حلقه اغلب قهوه‌ای، کم‌رشد و تحت تنش آب است، زیرا به احتمال زیاد قارچ‌ها، که بخش‌های فوقانی خاک را تسخیر می‌کنند خاک را تا حدی آب‌گریز می‌باشند.

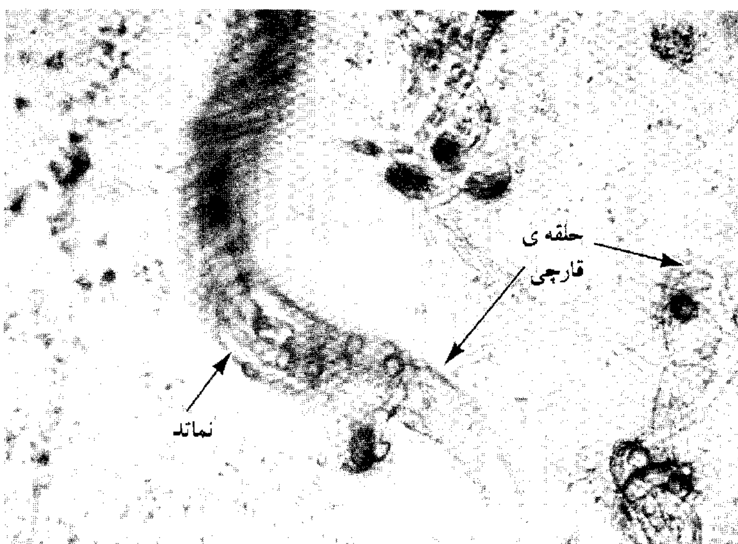
قارچ ریشه‌ها در اثر همکاری با نباتات و استفاده مستقیم از مواد حاصل از سوخت‌وساز نوری آن‌ها برتری‌های فوق‌العاده زیادی را از نظر تنازع بقا به‌دست می‌آورند. به‌جای رقابت با سایر ناخودپرورهای خاک در تجزیه موادآلی، قارچ میکوریز قند موردنیاز خود را مستقیماً

---

[1] - *Verticillium*
[2] - *Rhizoctonia*
[3] - Beauvaria
[4] - Mycorrhizae

از یاخته‌ی ریشه گیاهان به‌دست می‌آورند. این خود تحمیل هزینه‌ی انرژی به گیاه بوده که ممکن است ۵ تا ده درصد کل تولید مواد فتوسنتزی گیاه باشد.

درعوض نباتات منافع بسیار پرارزشی از قارچ‌ها به‌دست می‌آورند. ریسه قارچ‌ها ۵ تا ۱۵ سانتی‌متر از ریشه آلوده به بیرون توسعه یافته و به مناطق دورتر و منافذ کوچک‌تری که ریشه مویی خود گیاهان قادر به نفوذ درآن‌ها نیست دسترسی خواهد یافت. این گسترش نظام ریشه سبب افزایش کارایی شده و شاید سطح جذبی را تا ۱۰ برابر شبکه‌ی ریشه گیاه آلوده نشده توسعه دهد. این افزایش همچنین کارایی نظام ریشه را افزایش می‌دهد.



شکل ۱۹-۱۱ گونه‌های متعددی از قارچ‌ها شکارچی نماتدها می‌باشند، به‌خصوص نماتدهای که انگل گیاهان عالی هستند. بعضی ازگونه‌های قارچ‌های نماتدکش خود را به نماتد چسپانده و آن‌ها را تحلیل برده و هضم می‌کنند. دیگر قارچ‌ها با ریسه خود حلقه‌هایی ایجاد کرده و منتظر نماتدی برای شنا در این دام کمندوار می‌گردند. حلقه تنگ‌تر شده و نماتد به دام می‌افتد. نماتدی که در این عکس نشان داده شده است در یک تقلای بی‌حاصل خود را به هر طرف می‌کوبد تا از چنین دامی فرار کند.

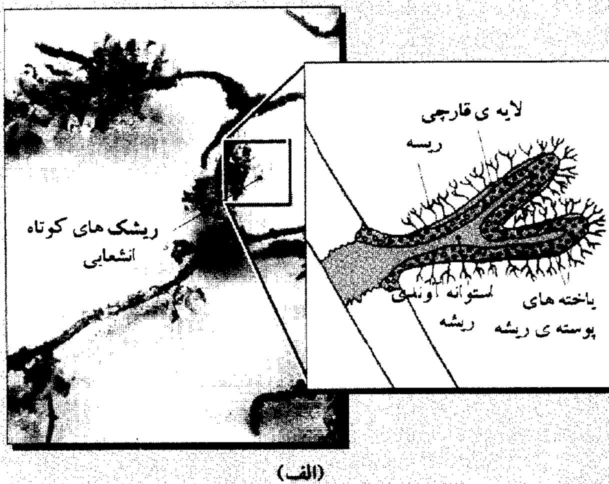
قارچ ریشه توانایی گیاهان را برای جذب فسفر و بعضی مواقع، دیگر عناصرغذایی، که نسبتاً بی‌تحرک بوده و درغلظت‌های اندک در محلول خاک وجود دارند افزایش می‌دهد (جدول۵-۱۱). در مقابل میکوریز از جذب مقادیر زیاد نمک و فلزات سمی در خاک‌های شور، اسیدی، و یا خاک‌های آلوده ممانعت می‌کند (فصل ۷-۱۸ را مطالعه کنید). جذب آب نیز ممکن است به‌وسیله‌ی قارچ ریشه افزایش یافته و گیاهان در مقابل خشکی بیشتر مقاومت کنند. شواهدی موجود است که قارچ ریشه گیاهان را از امراض مشخص خاکزی با تولید آنتی‌بیوتیک‌ها محافظت می‌کند و سبب تغییر لایه‌ی بیرونی ریشه و رقابت با عوامل بیماری‌زا برای اشغال مناطق آلوده می‌شوند.

جدول ۵-۱۱ اثرات تلقیح با قارچ ریشه و فسفر اضافه‌شده در میزان عناصر مختلف در ساقه‌های ذرت (برحسب میکروگرم درکیلوگرم نبات)

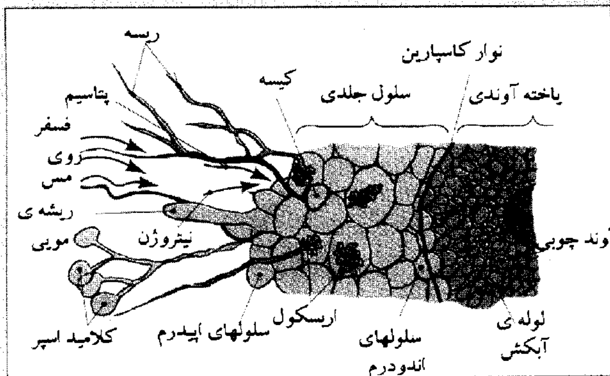
عنصر غذایی	بدون اضافه‌کردن فسفر		۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم فسفر اضافه شده	
	بدون میکوریزا	با میکوریزا	بدون میکوریزا	با میکوریزا
فسفر	۷۵۰	۱۳٤۰	۲۹۷۰	۵۹۱۰
پتاس	٦۰۰۰	۹۷۰۰	۱۷۵۰۰	۱۹۹۰۰
کلسیم	۱۲۰۰	۱٦۰۰	۲۷۰۰	۳۵۰۰
منیزیم	٤۳۰	٦۳۰	۹۹۰	۱۷۵۰
روی	۲۸	۹۵	٤۸	۱٦۹
مس	۷	۱٤	۱۲	۳۰
منگنز	۷۲	۱۰۱	۱۵۹	۲۳۸
آهن	۸۰	۱٤۷	۱٦۱	۲۷۷

قارچ ریشه‌ی خارجی : دو نوع همکاری میکوریزا دارای اهمیت عملی زیادی می‌باشد که عبارتند از میکوریز خارجی[1] و میکوریز داخلی[2]. گروه قارچ ریشه خارجی شامل صدها گونه قارچ بوده که عمدتاً با درختان مناطق معتدل و یا نیمه‌خشک مانند کاج، غان راش، شوکران و کاج نوئل، همزیستی دارند. این قارچ‌ها به‌وسیله‌ی ترشحات ریشه تحریک شده و سطح ریشه‌های تغذیه‌کننده را با یک لایه قارچی پوشش می‌دهند. ریسه‌ی آن‌ها در داخل ریشه‌ها انتشار یافته و در فضای خالی در دور یاخته‌های لایه خارجی ریسه توسعه می‌یابد اما در دیواره یاخته‌های آن نفوذ نمی‌کند. قارچ ریشه‌ی خارجی سبب می‌شود که شبکه‌ی ریشه آلوده عمدتاً از ریشک‌های سفید، ضخیم، کوتاه با شکل Y (شکل ۲۰-۱۱ را مشاهده کنید) تشکیل گردد. این ریشک‌های Y شکل شاخص آلوده‌شدن به‌وسیله‌ی قارچ ریشه می‌باشد، به این دلیل اولین قارچ ریشه‌ای که کشف گردید و مورد مطالعه قرار گرفت قارچ ریشه‌ی خارجی درختان جنگلی بود.

بسیاری از قارچ ریشه‌های خارجی دارای همزیستی انتخابی می‌باشند (آن‌ها هم چنین می‌توانند به‌طور مستقل در خاک زندگی کنند) و بنابراین می‌توانند در مقادیر فراوان در محیط‌های مصنوعی کشت گردند. چنین تلقیح قارچ ریشه‌های خارجی ***Pisolithus tinctorus*** به‌طور تجاری در خزانه‌های درختان به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. برای بعضی از گونه‌های درختان رشد رضایت‌بخش و زنده‌مانی آن‌ها در گرو تلقیح مناسب با قارچ ریشه قبل از کشت آن‌ها در خاک‌های فاقد این قارچ‌ها می‌باشد. در خاک‌های غیرحاصل‌خیز درصورت تلقیح با میکوریز خارجی افزایش ماده‌ی تلقیح برای توزیع قارچ ریشه‌ها در جنگل‌های دست‌کاشت در مناطق تخریب‌شده مانند معادن و یا لغزش‌های زمین مورد استفاده قرار می‌گیرد. اسپرهای قارچ ریشه‌های خارجی معمولاً هوازی بوده، بنابراین مناطق کوچک تخریب‌شده معمولاً در طول یک یا دو سال مجدداً به‌وسیله‌ی اسپرهای بادرفت از مناطق دست‌نخورده مجاور تلقیح می‌شوند.



(الف)



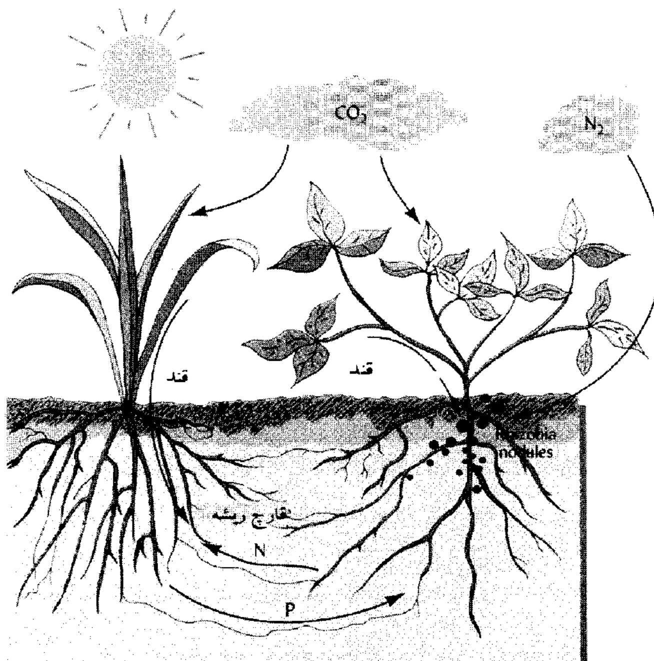
(ب)

شکل ۲۰-۱۱ شکل قارچ ریشه‌ی خارجی و قارچ ریشه‌ی داخلی (AM) در ریشه گیاهان. (الف) قارچ ریشه‌ی خارجی ایجاد ریشک‌های کوتاه منشعب می‌کند که به‌وسیله‌ی قارچ پوشیده است. ریسه قارچ‌ها به‌داخل خاک و در بین یاخته‌های گیاه انتشار یافته اما در داخل خود یاخته گیاهان نفوذ نکرده است (ب) برعکس قارچ ریشه‌ی AM نه‌تنها بین یاخته‌های گیاه انتشار یافته بلکه در داخل یاخته نیز نفوذ کرده است و ساختمان‌هایی به‌نام اربوسکول و ویزکول تشکیل داده است که اولی عناصر غذایی را به گیاه منتقل می‌کند و دومی این عناصر را در خود ذخیره می‌کند. در هر دو نوع قارچ ریشه گیاه میزبان قند و سایر مواد غذایی را برای قارچ تدارک دیده و درمقابل عناصر غذایی اصلی را که قارچ از خاک جذب می‌کند دریافت می‌دارد.

---
[1] - Ectomycorrhiza
[2] - Endomycorrhiza

قارچ ریشه‌ی داخلی: مهم‌ترین اعضا گروه میکوریز داخلی اربوس‌کولار[1] میکوریز (AM) نامیده می‌شوند. در تشکیل میکوریز (AM) ریسه قارچ‌ها در واقع به‌داخل دیواره یاخته‌های زیرجلدی نفوذ کرده و در داخل یاخته یک ساختمان منشعب به‌نام اربوس‌کول تشکیل می‌دهد. این ساختمان منشعب سبب انتقال عناصر معدنی از قارچ به گیاه میزبان و انتقال قند از گیاه به قارچ می‌شود. ساختمان دیگر که وزیکول نامیده می‌شود یک عضو ذخیره‌کننده برای قارچ ریشه محسوب می‌شود (شکل ۲۰-۱۱). قارچ ریشه‌ی AM[2] معمول‌ترین و گسترده‌ترین نوع قارچ ریشه‌ی داخلی می‌باشد. حدود ۱۰۰ گونه از قارچ‌ها این همزیستی میکوریز را در خاک‌ها از مناطق گرمسیری تا مناطق قطبی تشکیل می‌دهند، ریشه اکثر گیاهان زراعی از جمله ذرت، پنبه، گندم، سیب‌زمینی، لوبیا، یونجه، کاساوا و برنج (شرایط دیم) و به‌همین ترتیب اکثر سبزی‌ها و میوه‌ها مانند سیب، انگور و مرکبات تشکیل میکوریز می‌دهند. بسیاری از درختان جنگلی شامل، افرا، تبریزی زرد، چوب‌قرمز و همین‌طور محصولات درختی مانند کاکائو، قهوه و کائوچو نیز قارچ ریشه‌ی AM تشکیل می‌دهند. دو گروه مهم از زراعت‌ها که تشکیل میکوریز نمی‌دهند، خانواده چلیپاییان[3] (کلم، شلغم، کلم قمری، کانولا) و خانواده چغندرقند[4] (چغندرقند، چغندرمعمولی و اسفناج) می‌باشند.

تحقیق درمورد میکوریز AM برای روشن‌شدن اهمیت زیست‌بوم و عملی این همزیستی ادامه دارد. اهمیت ریسه قارچ ریشه‌ها در ایجاد پایداری در ساختمان خاکدانه‌ها روشن‌تر می‌شود. (شکل ۲۸-٤ را مشاهده کنید). حضور میکوریز برای ایجاد گره[5] و تثبیت نیتروژن به‌وسیله‌ی خانواده نیام‌داران شناخته شده است. به‌علاوه مشاهده شده است که میکوریزAM عناصر غذایی را از یک نبات به نبات دیگر از طریق اتصال ریسه‌ها انتقال داده است و بعضی مواقع سبب یک رابطه ٤ جانبه همزیستی گردیده است (شکل ۲۱-۱۱ را مشاهده کنید). انتقال عناصر غذایی در بین درختان در بوم‌سامان‌های جنگل، مراتع و چراگاه‌ها دیده شده است، اما محققین هنوز کوشش می‌کنند که میزان و اهمیت بوم‌شناسی این تعامل گیاهان را از طریق میکوریز AM مشخص کنند.



شکل ۲۱-۱۱ قارچ ریشه‌ها، باکتری‌های ریزوبیوم، گیاهان نیام‌دار و گیاهان غیرنیام‌دار می‌توانند دارای تعامل چهار طرفه‌ی مفید باشند. باکتری و قارچ هر دو انرژی و قند خود را از طریق فتوسنتز گیاهان به‌دست می‌آورند. ریزوبیوم گره‌هایی در روی ریشه خانواده نیام‌داران ایجاد کرده و نیتروژن نیوار را در اثر ترشحات آنزیم‌هایی جذب کرده و آن‌را در اختیار گیاه نیام‌دار برای ایجاد اسید امینه و پروتیین قرار می‌دهد. قارچ ریشه هر دو نبات را آلوده می‌کند و سبب ایجاد ارتباط ریسه‌ای بین آن‌ها می‌شود. سپس قارچ ریشه نه‌تنها در جذب فسفر از خاک کمک می‌کند، بلکه همچنین می‌تواند عناصر غذایی را مستقیماً از یک گیاه به گیاه دیگر منتقل کند. مطالعات ردیابی پرتوزایی نشان داده است که با این سازوکار نیتروژن در گیاهان نیام‌دار تثبیت‌کننده نیتروژن به غیرنیام‌دار (چمن‌ها) انتقال یافته و فسفر عمدتاً از نباتات غیرنیام‌دار به نبات نیام‌دار انتقال یافته است. چمن غیرنیام‌دار دارای نظام ریشه‌های افشان و شبکه‌ی گسترده‌ای از قارچ ریشه است که در استخراج فسفر از خاک‌ها بسیار کاراتر از شبکه‌ی ریشه خانواده نیام‌دار می‌باشد. تحقیق نشان داده است که انتقال عناصر غذایی از طریق ارتباط قارچ ریشه در بسیاری از جوامع گیاهی مخلوط، مانند زیراشکوب‌های جنگل، مرتع لگوم و چمن و نظام‌های کشت مخلوط صورت می‌گیرد. میزان تأثیر این پدیده در توان تولید گیاهان هنوز به‌خوبی فهمیده نشده است.

---

1 - Vesicular arbuscular mycorrhizae

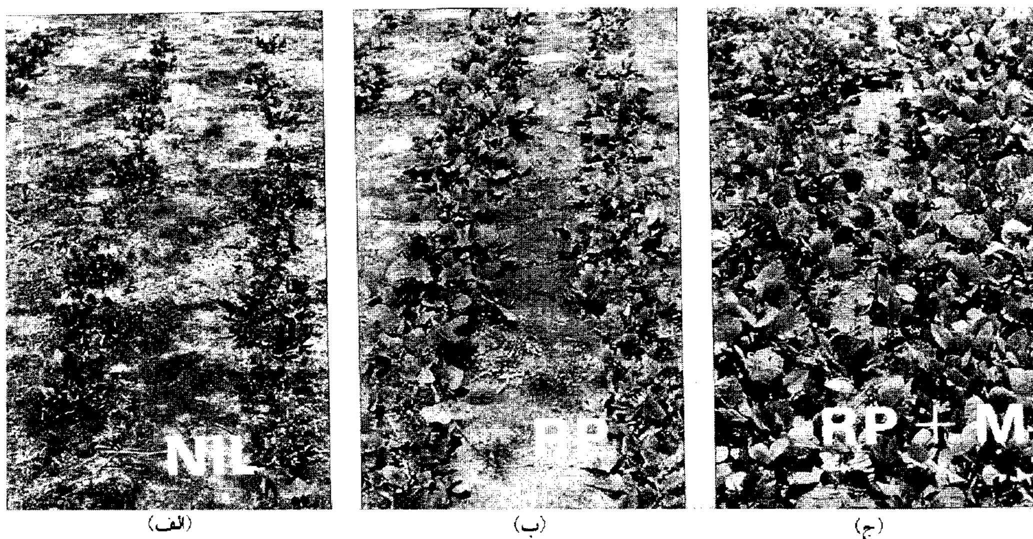
2 - قبلاًVAM نامیده می‌شد حال به‌دلیل عدم تشکیل vesicle در تمام موارد به AM تبدیل شده است.

3- *Cruciferae*

4- *Chenopodiaceae*

5 - Nodulation

هنگامی که خاک از این عناصر فقیر بوده و میزان کود محدود است نقشی که قارچ ریشه‌ی AM در کمک به گیاهان برای جذب عناصر ایفا می‌کند، از نظر کشاورزی بسیار بااهمیت می‌باشد (شکل ۲۲-۱۱). شواهد بیانگر این امرند که خاک‌ورزی سبب گسیخته‌شدن شبکه ریسه‌ها شده و بنابراین نظام کمینه عملیات خاک‌ورزی[1] سبب افزایش تأثیر میکوریزAM می‌گردد و همین‌طور ممکن است گیاهان پوششی و تناوب زراعی خاص، برعکس تک‌کشتی و آیش لخت سبب مؤثربودن میکوریز در خاک‌ها گردند. انبارشدن خاک‌ها در سطح در ضمن فعالیت‌های معدن‌کاوی و ساختمانی (شکل ۱۵-۱ را مشاهده کنید) ممکن است پتانسیل تلقیح قارچ ریشه را به‌خاطر نبود گیاه میزبان برای مدت طولانی از دست دهد. وقتی این خاک‌های انبار شده قبل از استفاده با خاک حاوی قارچ ریشه تلقیح نشوند، پوشش گیاهی آن‌ها فقیر خواهد بود. این مثال‌ها اهمیت تداوم گیاهان میزبان AM را برای موثربودن همزیستی روشن می‌سازد. مطالعات در سواحل غربی ایالات متحده و کانادا نشان داده است که رشد مجدد نراد دگلاس با انجام عملیات کف‌بُرکردن و از بین‌بردن نهال‌های سخت‌چوب به عنوان گیاهان هرز محدود گردیده است. در بعضی مناطق بدون وجود درختان سخت‌چوب زنده‌مانی نراد دگلاس درمقایسه با مناطقی که در آن‌ها درختان سخت‌چوب به عنوان میزبان AM باقی مانده‌اند، یا به مخاطره افتاده است و یا بسیار کند شده است. گرچه اختلافات مشخصی در کارایی میکوریز در بین گونه‌ها و نژادهای قارچ ریشه‌های AM وجود دارد، توزیع یکنواخت و گسترده نژادهای بومی سبب تضمین آلوده‌شدن طبیعی گیاهان در اکثر مواقع می‌شود. بنابراین حاصل تلقیح با قارچ‌های بسیار کارای میکوریز معمولاً اندک است. گرچه استثنا وقتی پیش می‌آید که جمعیت بومی قارچ‌ها به‌خاطر پخش بخارات سمی و یا سایر دست‌کاری‌های خاک مانند معدن‌کاوی یا کف‌بری جنگل خیلی پایین باشد. کاربرد عملی فناوری میکوریز به‌خاطر مشکلات موجود کشت این همزیست‌های اجباری در شرایط مصنوعی محدود گردیده است. فرایندی که امکان تولید مقادیر زیاد مواد تلقیحی عاری از بیماری را امکان‌پذیر می‌سازد.



شکل ۲۲-۱۱ اثر قارچ ریشه بر روی قابلیت استفاده فسفر در یک مرتع نیام‌دار *Pueraria phaseoloides*: (الف) شاهد بدون هر نوع تیمار، (ب)مصرف سنگ فسفات، (ج) سنگ فسفات به‌اضافه میکوریز.

۱۰-۱۱ اکتینومیست‌های خاک

همانند قارچ‌ها، اکتینومیست‌ها رشته‌ای شکل بوده و دارای انشعابات فراوانی می‌باشند (شکل ۶-۱۱ ج)، هرچند نخ‌های میسلیوم آن‌ها بسیار کوچک‌تر از قارچ‌ها است (شکل ۱۶-۱۱ ج). اکتینومیست‌ها از آن نظر شبیه باکتری‌ها می‌باشند که تک‌یاخته‌ای بوده و دارای همان قطر باکتری‌ها بوده و به هاگ‌هایی تقسیم می‌شوند که بسیار شبیه باکتری‌ها می‌باشند. هرچند اکتینومیست‌ها از نظر تاریخی با قارچ‌ها طبقه‌بندی شده‌اند از آن نظر که فاقد غشاء می‌باشند شبیه باکتری‌ها هستند (هر دو دارای یاخته‌های پروکاریوتیک[2] میباشند). حال همراه باکتری‌ها به‌طور معمول در جامعه مونرا[3] طبقه‌بندی می‌شوند.

[1] - Minimum Tillage
[2] - Prokaryotic
[3] - Monera

اکتینومیست‌ها معمولاً هوازی ناخودپرور بوده که بر روی مواد در حال فساد در خاک و یا بر روی ترکیباتی که به‌وسیله‌ی گیاهان تأمین گردیده و گونه‌های خاصی با آنها روابط انگلی و یا همزیستی دارند زندگی می‌کنند. بسیاری از گونه‌های اکتینومیست ترکیبات آنتی‌بیوتیک تولید می‌کنند که سایر ریزجانداران را از بین می‌برند. اکتینومیسین، نئومیسین، و استرپتومایسین نمونه‌های از داروهای مشهور آنتی‌بیوتیک هستند که با پرورش اکتینومیست‌های خاک در محیط کشت تولید می‌شوند. در بوم‌سامان جنگل بیشتر تأمین نیتروژن وابسته به اکتینومیست‌های خاصی است که قادرند گاز N_2 نیوار را به‌صورت نیتروژن آمونیاکی تثبیت کنند که برای گیاهان عالی قابل‌استفاده می‌باشد (فصل ۱۲-۱۳ را مشاهده کنید).

اکتینومیست‌ها در خاک‌های مرطوب، گرم، دارای تهویه مناسب، بهترین رشد را دارند. اما در مواقع خشکی آن‌ها فعال باقی می‌مانند که نه باکتری‌ها و نه کفک‌ها این خصوصیت را نشان می‌دهند. اکتینومیست‌ها در برابر پتانسیل اسمزی کم پایدار بوده و از این‌رو در مناطق خشک و زمین‌های شور از اهمیتی چشم‌گیر برخوردارند. آن‌ها معمولاً به شرایط اسیدی خاک‌ها تا حدی حساس می‌باشند. رشد بهینه آن‌ها در مقادیر pH بین ۷/۵-۶ صورت می‌گیرد. بعضی از گونه‌های اکتینومیست‌ها می‌توانند دمای نسبتاً بالا را تحمل کنند.

تعداد و فعالیت‌های اکتینومیست : تعداد اکتینومیست‌ها در خاک از تمام موجودات دیگر به‌استثنای باکتری‌ها زیادتر است (جدول ۲-۱۱ را مشاهده کنید). زیتوده آن‌ها تا ۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار در بعضی از خاک‌های سطحی می‌رسد. این جانداران به‌خصوص در خاک‌های حاوی هموس، مانند چمن‌زارهای قدیمی و مراتع، که اسیدیته خیلی زیاد نیست فراوان می‌باشند. رایحه‌ی زمین‌های غنی از مواد آلی و اراضی تازه شخم‌خورده عمدتاً به‌خاطر تولیدات اکتینومیست‌ها است که ژِوسیمنز[1] نامیده می‌شود که ترکیبات فرار ترپن[2] می‌باشد.

اکتینومیست‌ها بدون شک در تجزیه‌ی مواد آلی خاک، و آزادسازی عناصر آن دارای اهمیت زیادی می‌باشد. ضاهراً آن‌ها ترکیبات مقاوم مانند سلولز، کتین، و فسفولیپیدها را به اشکال ساده‌تر تجزیه می‌کنند. این موجودات در آخرین مراحل تجزیه، وقتی محصولات فرعی دارای سهولت سوخت‌وساز مصرف شده‌اند، در خاک غالب می‌شوند وفور اکتینومیست‌ها در خاک‌هایی که سال‌ها زیر کشت چمن بوده‌اند، نشانه‌ی سازگاری آن‌ها در تجزیه‌ی ترکیبات پیچیده می‌باشد. آن‌ها همچنین در مراحل نهایی کمپوست‌کردن (عمل‌آوری) بسیار مهم می‌باشند (فصل ۵-۱۲ را مشاهده کنید).

۱۱-۱۱ باکتری‌های خاک

خصوصیات: باکتری‌ها موجودات بسیار کوچک تک‌یاخته‌ای پروکاریوتیک[3] (بدون هسته حقیقی) بوده و از نظر اندازه از ۰/۵ تا ۵ میکرون متغییر می‌باشند، که کوچک‌ترین آن‌ها هم‌اندازه ذره‌ی رس متوسط است (شکل ۱۰-۱۱ را مشاهده کنید). باکتری‌ها در شکل‌های مختلف مانند گرد، (کوکوس[4])، میله مانند (باسیلیوس[5]) و یا مارپیچی (اسپریلیوم[6]) یافت می‌شوند. به‌نظر می‌رسد انواع میله‌ای شکل در خاک که غالب باشند (شکل۱۴-۱۱). بسیاری از باکتری‌ها دارای حرکت (جنبش) بوده و در آب خاک به‌وسیله‌ی مژه و یا میله‌های مو مانند به هر طرف شنا می‌کنند.

باکتری‌ها احتمالاً متنوع‌ترین موجودات خاک می‌باشند، یک گرم خاک حاوی ۲۰۰۰۰ گونه‌ی مختلف است. سازوکارهایی آن‌ها چنان تحول یافته است که با سخت‌ترین محیط‌ها از قطب تا آمازون، از اراضی ماندابی غیرهوازی تا کفه‌های خشک نمکی، از لاشبرگ جنگلی تا آبهای عمیق زیرزمینی، از خاک‌های سدیمی با pH ۱۰ تا خاک‌های سولفاته اسیدی با pH ۲ توانسته‌اند حیات خود را تطابق دهند.

جمعیت باکتری‌ها در خاک: همانند سایر موجودات خاک، تعداد باکتری‌ها فوق‌العاده متغییر، اما بالاست و از چندمیلیارد تا ۱۰۰۰ میلیارد در هر گرم خاک متغیر است. زیتوده‌ای درحدود ۴۰۰ تا ۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار برحسب وزن زنده‌ی آن‌ها در لایه شخم یک خاک حاصل‌خیز یافت می‌شود(جدول ۲-۱۱ را مشاهده کنید).

توانایی آن‌ها برای ایجاد اشکال مقاوم در حالت رکود، که می‌توانند در انتقال به‌وسیله‌ی باد، رسوب، جریان اقیانوس و اندام‌های گوارش حیوانات زنده باقی بمانند به آن‌ها امکان داده است که تقریباً در تمام خاک‌ها توزیع و گسترش یابند. توان تولید بسیار سریع (زمان

[1] - Geosmins
[2] - terpene
[3] - Prokaryotic
[4] - Coccus
[5] - Bacillus
[6] - Spirillium

ایجاد یک نسل فقط چند ساعت)، باکتری‌ها را قادر ساخته که جمعیت خود را در شرایط مساعد خاک، و وجود غـذا، بـه‌سـرعت تکثیـر نمایند. همان‌طورکه بجرینیک اولین میکروب‌شناس خاک در مورد باکتری‌ها گفته است (هر چیزی در هر کجا یافت مـی‌شـود). تغییـر در محیط خاک، اضافه‌کردن یک ماده‌ی غذایی در خاک به یک گونه جدید می‌انجامد. حتی در ضایعات صنعتی بـه‌زودی مـی‌تـوان جمعیـت جدیدی از باکتری‌ها را مشاهده نمود.

منبع انرژی : باکتری‌های خاک، خودپرور و یا ناخودپرور می‌باشند (فصل۳-۱۱ را مشاهده کنید). باکتری‌های خودپرور انرژی خود را از نور آفتاب (خودپرور نوری) و یا اکسایش مواد معدنی مانند آمونیوم، گوگرد و آهن (شیمی خودپرور) و بیشتر کـربن خـود را از اکسـید کربن و یا کربنات‌های محلول به‌دست می‌آورند. باکتری‌های خودپرور چندان متعدد نیستند، اما آن‌ها در قابلیت استفاده عناصر برای گیاهان عالی نقش حیاتی ایفا می‌کنند.

بیشتر باکتری‌های خاک ناخودپرور بوده هم انرژی و هم کربن مورد نیاز خود را مستقیماً از ماده‌ی آلی به‌دست می‌آورند. باکتری‌هـای ناخودپرور همراه با قارچ‌ها و اکتینومیست‌ها در تجزیه کلی مواد آلی در خاک‌ها عامل اصلی به حساب می‌آیند. باکتری‌ها اغلب، بـر روی مواد با تجزیه‌ی آسان مانند کود دامی، نشاسته و پروتئین غالب می‌باشند. وقتی مقدار اکسیژن کاهش می‌یابد، مانند اراضی مرطوب، تقریبـاً تمام تجزیه‌ی مواد آلی به‌وسیله‌ی باکتری‌ها انجام می‌گیرد. محصولات گازی حاصل از این باکتری‌های غیرهوازی مانند متان، و اکسیدهای نیتریت، اثرات مهمی بر محیط زیست کره‌ی زمین خواهند داشت (فصول ۱۱-۱۲ و ۹-۱۳ را مشاهده کنید).

اهمیت باکتری‌ها : باکتری‌ها به‌عنوان یک گروه در واقع درتمام تبدیلات آلی که یک نظام سالم خاک را مشخص مـی‌کنـد، توانمندانـه شرکت دارند. از آن‌جاکه باکتری‌ها به‌عنوان یک گروه دارای چنین توانایی‌های گسـترده آنزیمـی مـی‌باشـند، دانشـمندان اکنـون در فکـر پیداکردن راه‌هایی برای مهارکردن، وحتی توسعه‌ی فعالیت‌های سوخت‌وساز باکتری‌ها برای پاک‌کردن خـاک‌هـای آلـوده از نفـت خـام، حشره‌کش‌ها و سایر مواد سمی آلی می‌باشند (فصل ٦-١٨ را مشاهده کنید). باکتری‌ها معمـولاً مهـم‌تـرین گـروه در تجزیـه‌ی ترکیبـات هیدروکربن، مانند بنزین و گازوییل می‌باشند.

به‌علاوه باکتری‌ها در چندین تغییرشکل اساسی آنزیمی، تقریباً منحصربه‌فرد می‌باشند. یکی از این فرایندها اکسایش و یا احیای عناصر شیمیایی خاص در خاک‌ها است (فصل ٤-٧ و ٦-٧ را مشاهده کنید). باکتری‌های خودپرور خاص انرژی خود را از چنین اکسـایش‌هـای معدنی به‌دست می‌آورند، در حالی‌که باکتری‌های غیرهوازی و انتخابی (هوازی و غیرهوازی) تعدادی از مواد را به غیـراز اکسـیژن احیـاء می‌کنند. بسیاری از این اکسایش‌ها و احیای زیست‌شیمی اثرات عمده‌ای بر کیفیت محیط زیست، و همین‌طور تغذیه نباتات، دارنـد. بـرای مثال در طی فرایند اکسایش نیتروژن (نیتریفیکاسیون) باکتری‌های انتخابی نیتروژن آمونیاکی تقریباً پایـدار را درطـی فراینـد اکسـایش بـه نیتروژن بسیار پویای نیتراتی تبدیل می‌کنند. به‌همین ترتیب، سایر باکتری‌ها مسوول تجزیه‌ی گوگرد بوده که ین سولفات قابلیت استفاده را برای گیاهان به‌دست می‌آورند، هرچند اسید سولفوریک خسارت‌زا را نیز ممکن است تولید کنند (فصل ۲۱-۱۳ را مشاهده کنید). به‌عـلاوه اکسایش و احیای ین‌های معدنی مانند آهن و منگنز نه‌تنها در قابلیت استفاده این ین‌ها تأثیر می‌گذارد (فصل ۵-۱۵ را مشاهده کنید)، بلکه در تعیین رنگ خاک نیز مؤثر می‌باشد (فصل ۱-٤ را مشاهده کنید).

دومین فرایند مهم که در آن باکتری‌ها غالب می‌باشند. تثبیت نیتروژن است که عبارت از ترکیـب زیسـت‌شـیمی نیتـروژن نیـوار بـا هیدروژن برای تشکیل ترکیبات آلی نیتروژن‌دار قابل‌استفاده گیاهان عالی می‌باشد (فصل ۱۰-۱۳ را مشاهده کنید). این فرایند می‌توانـد در خاک‌ها مستقل از گیاهان صورت گیرد، اما در صورت همکاری باکتری‌ها با ریشه گیاهان میزان تثبیت نیتروژن به‌مراتب بیشتر خواهد شـد، زیرا گیاهان قند، یا سوخت مورد نیاز این فرایند پرنیاز به انرژی را تأمین می‌کنند.

سیانوباکتری‌ها[1] : این باکتری‌ها دارای سبزینه بوده و به آن‌ها اجازه می‌دهد که همانند گیاهان عالی سوخت‌وساز نوری انجام دهند. ایـن باکتری‌ها که قبلاً جلبک‌های آبی – سبز نامیده می‌شدند به‌ویژه در برنج‌زارها و سایر خاک‌های مرطوب بسیار متعدد می‌باشند. وقتـی ایـن اراضی غرقاب می‌شوند مقادیر زیادی از نیتروژن نیوار به‌وسیله‌ی این موجودات تثبیت می‌شود. سیانوباکتری‌های خاص، که در بـرگ‌هـای سرخس آبی به اسم آزولا[2] زندگی می‌کنند قادرند نیتروژن را در مقادیر چنان زیاد تثبیت کنند که از نظر تولید برنج دارای اهمیـت عملـی باشد (فصل ۱۲-۱۳ را مشاهده کنید). این موجودات قادرند تحمل قابل‌ملاحظه‌ای از خود در محیط‌های شور بروز دهند.

---

[1]- Cyanobacteria
[2]- Azola

۱۱-۱۲ شرایطی که در رشد ریزجانداران خاک مؤثر می‌باشند

نیازهای ماده‌ی آلی : پس‌ماندهای گیاهی و ماده‌ی آلی خاک به‌عنوان منبع انرژی به‌وسیله‌ی اکثریت ریزجانداران ناخودپرور و اما نه خودپرورها مورد استفاده قرار می‌گیرند. افزودن تقریباً هر ماده‌ی آلی غنی از انرژی از جمله مواد ترشح‌شده به‌وسیله‌ی ریشه‌ی گیاهان، سبب تحریک رشد فعالیت میکروبی می‌شود. باکتری‌ها و قارچ‌های به‌خصوص به‌وسیله‌ی اسید آمینه‌های خاص و یا سایر عوامل رشد که در ریزوسفر یافت شده، و یا به‌وسیله‌ی بقیه‌ی ریزجانداران تولید می‌شوند، تحت تأثیر و تحریک قرار می‌گیرند.

باکتری‌ها به‌سرعت در برابر اضافه‌شدن ترکیبات ساده مانند نشاسته و قند واکنش نشان می‌دهند، درصورتی‌که قارچ‌ها و اکتینومیست‌ها در صورت وجود سلولز ترکیباتی با مقاومت بیشتر در مواد آلی مصرف‌شده فعالیت باکتری‌ها را کم‌رنگ خواهند کرد. همچنین، اگر مواد آلی در سطح خاک باقی بمانند (همانند لاشبرگ سوزنی‌برگ‌ها)، قارچ‌ها در فعالیت میکروبی غالب خواهند بود. باکتری‌ها در صورت مخلوط شدن مواد آلی با خاک، مثلاً به‌وسیله‌ی کرم‌های خاکی، و یا انتشار ریشه و یا خاک‌ورزی نقش بیشتری ایفا می‌کنند.

نیازهای اکسیژن: اکثر باکتری‌ها هوازی بوده و از گاز O_2 به‌عنوان دریافت‌کننده‌های الکترون در سوخت‌وساز خود استفاده می‌کنند. بعضی از باکتری‌های دیگر غیرهوازی بوده و مواد دیگری غیراز اکسیژن را به‌کار می‌برند (مثلا NO_3 , SO_4 و سایر دریافت‌کننده‌های الکترون). باکتری‌های انتخابی هر دو شکل فوق را در سوخت‌وساز خود به‌کار می‌برند. هر سه نوع سوخت‌وساز فوق‌الذکر همزمان با همدیگر در سکونت‌گاه‌های مختلف در داخل خاک به انجام می‌رسند.

رطوبت و دما : میزان رطوبت بهینه برای گیاهان عالی (پتانسیل رطوبتی ۷۰- تا ۱۰- کیلوپاسکال) معمولاً برای اکثر میکروب‌های هوازی نیز بهترین است. میزان رطوبت زیاد خاک سبب محدودیت تأمین اکسیژن می‌شود. فعالیت میکروبی وقتی دما در فاصله‌ی ۴۰-۲۰ درجه سانتی‌گراد باشد معمولاً در بیشترین اندازه است. بخش گرم‌تر در این فاصله برای اکتینومیست‌ها مناسب می‌باشد. دمای انتهایی این دامنه به‌ندرت سبب کشته‌شدن باکتری‌ها می‌گردد. و اما به‌طور موقت سبب کاهش فعالیت آن‌ها می‌شود، هرچند به‌استثنای چند گونه‌ی سرمادوست[1]، فعالیت سوخت‌وساز اکثر باکتری‌ها در پایین‌تر از ۵ درجه سانتی‌گراد متوقف می‌شود، دمایی که بعضی مواقع به آن صفر زیستی گفته می‌شود (فصل ۹-۷ را مشاهده کنید).

کلسیم قابل‌تبادل و pH : میزان کلسیم قابل‌تبادل و pH مشخص می‌کند که کدام ریزجاندار در یک خاک موفق می‌باشد. هرچند در هر شرایط شیمیایی که در خاک یافت می‌شود بعضی از گونه‌های باکتری‌ها موفق می‌باشند. کلسیم زیاد و pH نزدیک خنثی معمولاً بیشترین و متنوع‌ترین جمعیت باکتریایی را سبب می‌شود. pH پایین سبب غلبه‌ی قارچ‌ها می‌گردد. تأثیر pH و کلسیم دلیل غلبه‌ی قارچ‌ها را در خاک‌های جنگلی تشریح می‌کند. زیتوده‌ی باکتریایی معمولاً از زیتوده‌ی قارچی در اکثر خاک‌های مراتع و مَرغزارهای نیمه‌مرطوب تا نیمه‌خشک بیشتر می‌باشد.

۱۱-۱۳ اثرات مفید موجودات خاک

اهمیت جانوران و گیاهان خاک در رابطه با تأثیر آن‌ها بر توان تولید محصولات و نقش زیست‌بوم خاک گریزناپذیر است. از اثرات مهم سودمند و بسیار آن‌ها، فقط مهم‌ترین در این‌جا مورد تأکید قرار می‌گیرند.

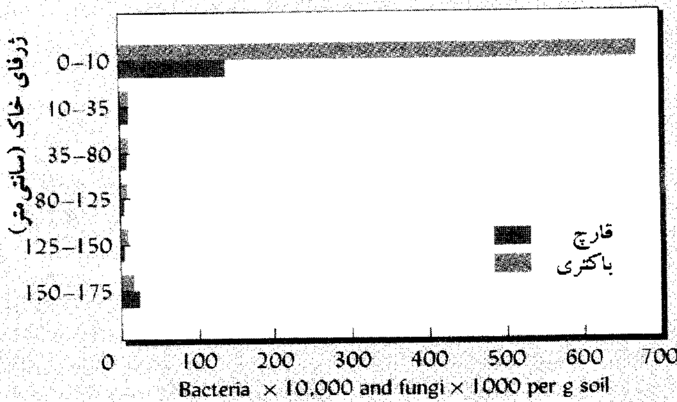
تجزیه‌ی مواد آلی: شاید بااهمیت‌ترین کمک ریزجانوران و ریزگیاهان خاک به گیاهان عالی همانا تجزیه‌ی ماده‌ی آلی باشد. طی این فرایند، پس‌ماندهای گیاهی تجزیه شده و عناصر غذایی نگهداری شده در شکل آلی به گونه‌های معدنی برای استفاده گیاهان آزاد می‌شوند.آزادشدن نیتروژن یک نمونه برجسته است. ریزجانداران خاک همچنین سبب هضم فضولات حیوانات (از جمله فضولات انسانی) و سایر مواد آلی اضافه‌شده به خاک می‌گردند. یکی از محصولات فرعی سوخت‌وساز آن‌ها بازسازی ترکیبات جدیدی می‌باشد که بعضی از آن‌ها سبب پایداری ساختمان خاک و بقیه در تشکیل هموس مؤثر می‌باشند.

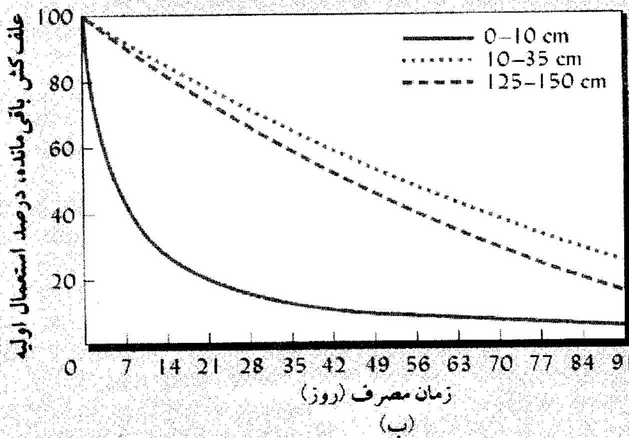
تجزیه‌ی ترکیبات سمی: بسیاری از ترکیبات سمی برای گیاهان و یا حیوانات نهایتاً راه خود را در خاک پیدا خواهند کرد. بعضی از این مواد سمی به‌وسیله‌ی موجودات خاک به‌عنوان مواد فرعی حاصل از سوخت‌وساز آن‌ها تولید می‌شوند. بعضی دیگر به‌وسیله‌ی انسان

[1] - Cryophillic

به‌عنوان مواد شیمیایی کشاورزی[1] برای ازبین‌بردن آفت‌ها عمداً به‌کار می‌روند و بعضی دیگر به‌دنبال آلودگی محیطی غیرعمدی در خاک ته‌نشین می‌شوند. اگر این ترکیبات بدون تغییر در خاک تراکم یابند، سبب خسارات متعددی به زیست‌بوم خواهند شد. خوشبختانه اکثر سم‌های تولیدشده زیستی به‌مدت طولانی در خاک باقی نمی‌مانند، زیرا بوم‌سامان دارای موجوداتی است که نه‌تنها از این ترکیبات صدمه نمی‌بینند، بلکه می‌توانند آنزیم‌هایی تولید کنند که از این سم‌ها به‌عنوان غذا استفاده کنند.

بعضی از سموم ترکیبات، مصنوعی (زنوبیوتیک[2]) بوده که در نظام زیستی خاک بیگانه می‌باشند، و ممکن است در مقابل اثر آنزیم‌های معمولی موجود در خاک مقاومت کنند. باکتری‌ها و قارچ‌های خاک مخصوصاً از نظر حفظ محیط غیرسمی در خاک مهم می‌باشند (فصل ۱۸-٦ را مشاهده کنید). فعالیت رفع سمیت این ریزجانداران در لایه‌های سطحی خاک، که جمعیت باکتری‌ها به‌خاطر وجود مواد آلی و اکسیژن فراوان تمرکز یافته است، در بالاترین میزان خود می‌باشد (شکل ۲۳-۱۱).





شکل ۲۳-۱۱ (الف) جمعیت باکتری‌های هوازی و قارچ‌ها در اعماق مختلف در سری خاک‌دندی[3] (اکوالف). (ب) تجزیه‌ی علف‌کش متریبوزین[4] در همان خاک در اعماق مختلف. نمونه‌ی خاک از هر عمق برداشته شد و با علف‌کش مخلوط گردید. توجه داشته باشید که قارچ‌ها و باکتری‌ها در لایه‌ی ۱۰ سانتی‌متری فوقانی تمرکز یافته و تجزیه‌ی علف‌کش‌ها در این خاک به‌مراتب سریع‌تر از لایه‌های عمیق‌تر بود.

تغییرشکل‌های معدنی

تغییر شکل ترکیبات معدنی در بین نقش‌های نظام خاک، از جمله رشد نبات دارای بالاترین اهمیت می‌باشد. حضور یون‌های نیترات‌ها، سولفات‌ها و به‌میزانی کمتر فسفات‌ها، عمدتاً به‌خاطر فعالیت ریزجانداران است. اشکال نیتروژن، گوگرد و فسفر در پیوند آلی به‌وسیله‌ی میکروب‌ها به اشکال قابل‌استفاده گیاهان تبدیل می‌شوند.

به‌همین ترتیب قابلیت استفاده سایر عناصر اساسی مانند آهن و منگنز عمدتاً براثر فعالیت میکروبی مشخص می‌شود. در خاک‌ها با زه‌کشی خوب، این عناصر به‌وسیله‌ی موجودات خودپرور اکسیده شده و به ظرفیت بالای خود خواهند رسید، که در آن اشکال، حلالیت

1 - Agrochemicals
2 - Xenobiotic
3 - Dundee Aqualfs
4 - Metribuzin

آن‌ها کاملاً پایین خواهد بود. این تغییر شکل بخش بیشتر آهن و منگنز را در اشکال غیرمحلول و غیرسمی، حتی در شرایط اسیدی نگهداری خواهد کرد. اگر چنین اکسایشی صورت نگیرد، رشد گیاهی به‌خاطر مقادیر سمی این عناصر در محلول به مخاطره خواهد افتاد. اکسایش میکروبی همچنین توان سمیت در خاک‌های آلوده شده با سلنیوم و کرم را تنظیم خواهدکرد (فصل ۱۰-۱۸ رامشاهده کنید).

تثبیت نیتروژن: تثبیت گاز نیتروژن عنصری(که نمی‌تواند مستقیماً به‌وسیله‌ی گیاهان عالی مورد استفاده قرار گیرد) به‌ترکیباتی که قابل‌استفاده گیاهان است یکی از مهم‌ترین فرایندهای میکروبی در خاک است. درحالی‌که جنس فرانکیا در اکتینومیست‌ها بخش عمده‌ای از نیتروژن را در بوم‌سامان جنگل تثبیت می‌کند و سیانوباکتری‌ها در برنج‌زارهای غرقابی مهم می‌باشند، باکتری‌های ریزوبیوم مهم‌ترین گروه برای اخذ نیتروژن گازی در خاک‌های زراعی به‌شمار می‌روند. به‌علاوه بیشترین مقدار تثبیت نیتروژن به‌وسیله‌ی این موجودات در گره‌های ریشه و یا در سایر اشکال همکاری با نبات صورت می‌گیرد. در مقیاس جهانی، مقادیر عظیمی نیتروژن هر سال در اشکالی که قابل‌استفاده برای گیاهان عالی است تثبیت می‌شوند (بخش ۱۰-۱۳ را مشاهده کنید).

حفظ نباتات: بعضی از موجودات مشخص خاک به گیاهان عالی حمله کرده، اما بقیه سبب حفظ ریشه از آلوده‌شدن بوسله انگل‌ها و بیماری‌های خاک می‌شوند (بخش بعد را مطالعه کنید).

۱۴-۱۱ موجودات خاک و زیان به گیاهان عالی

هرچند اکثر فعالیت‌های موجودات خاک برای ایجاد یک بوم‌سامان سالم و تولید اقتصادی محصولات حیاتی است، بعضی از موجودات خاک چنان با روش‌های مهلکی بر گیاهان اثرگذارند که نمی‌توان آن‌ها را نادیده گرفت.

جانوران خاک[1]: همان‌طورکه قبلاً بیان گردید بعضی از جانوران خاص خاک برای گیاهان عالی زیان‌بار هستند، برای مثال بعضی از جوندگان و موش‌کور ممکن است سبب ایجاد خسارت شدید در محصولات گردند. حلزون‌ها و راب‌ها در بعضی اقالیم آفت‌های هولناکی، به‌خصوص برای سبزی‌ها می‌باشند. مورچگان ممکن است بعضی از شته‌ها را برروی نباتات خاص انتقال دهند و سبب ایجاد خسارت گردند به‌علاوه، ریشه بیشتر گیاهان به‌وسیله‌ی نماتدها آلوده می‌شوند، در بعضی مواقع آلودگی چنان شدید است که رشد موفقیت‌آمیز محصولات خاص هم مشکل و هم پرهزینه خواهد بود.

ریزگیاهان و امراض گیاهی: در بین ریزجانداران، ریزگیاهان معمولاً شدیدترین خسارت را به گیاهان عالی وارد می‌کنند گرچه باکتری‌ها و اکتینومیست‌ها سهمی در امراض گیاهی دارند. قارچ‌ها مسوول اکثر امراض معمول ناشی از خاک می‌باشند که از جمله شامل پژمردگی[2]، بوته‌میری[3]، پوسیدگی ریشه[4]، ریشه‌گرزی[5] کلم و زراعت‌های مشابه و سفیدشدن و پریدگی[6] رنگ در سیب‌زمینی می‌باشد.

خاک‌ها به آسانی در معرض عوامل بیماری‌زا در اثر انتقال خاک به خاک به‌وسیله‌ی ادوات کشاورزی و نشاء گیاهان، و حتی کود دامی حیواناتی که گیاهان آلوده را خورده‌اند قرار می‌گیرند. همچنین فرسایش خاک، هاگ‌ها و باکتری‌های بادآورده می‌توانند امراض را از یک مزرعه به مزرعه دیگر منتقل کند. وقتی خاک به بیماری ابتلا یافت ممکن است برای مدت زیادی آلوده باقی بماند.

کنترل امراض به‌وسیله‌ی مدیریت خاک

پیشگیری، بهترین دفاع در مقابل امراض ناشی از خاک است. نظام‌های شدید قرنطینه از انتقال عوامل بیماری‌زای ناشی از خاک یک مزرعه به مزرعه دیگر جلوگیری می‌کند. حذف گیاه میزبان از مزرعه‌ی آلوده در مواردی که گیاه میزبان دیگری وجود نداشته باشد به مهار مرض کمک می‌کند. در بعضی موارد تناوب زراعی و عملیات خاک‌ورزی برای مهار یک مرض با کشت گیاهان غیرحساس به‌مدت چندین سال در بین نباتات حساس، و یا مدفون ساختن پس‌مانده‌های گیاهی که هاگ قارچ‌ها نتوانند در آن‌ها زمستان‌گذرانی داشته باشند، می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. خاک‌پوش‌ها می‌توانند با جلوگیری از پاشمان خاک به‌داخل پوشش برگی در طول رگبارش‌ها از انتقال بیماری‌های ناشی از خاک جلوگیری کنند.

---

1 - Soil fauna
2 - Wilting
3 - Damping off
4 - Root rot
5 - Club root
6 - Blight

pH خاک: تنظیم pH خاک در مهار بعضی از امراض مؤثر می‌باشد. برای نمونه پایین نگهداشتن pH (۵/۲>) می‌تواند گال سیب‌زمینی[1] حاصل از فعالیت اکتینومیست‌ها (شکل ۲۴-۱۱) و مرض قارچی چمن‌ها را که تحت عنوان مرگ بهاره[2] مشهور است مهار کند. در صورتی‌که بالابردن pH به ۷/۲ و بیشتر در مهار ریشه‌گرزی در خانواده کلم به‌وسیله‌ی قارچ‌ها مؤثر می‌باشد زیرا هاگ قارچ‌های بیماری‌زا در شرایط قلیایی یا اصلاً جوانه نزده و یا به‌طور ضعیف جوانه می‌زند.

هوا و دما: خاک‌های مرطوب سرد برای پوسیدگی بذر و امراض گیاهچه که به بوته‌میری مشهور است مطلوب می‌باشند. زه‌کشی خوب و کشت بر روی برجستگی و پشته‌ها به مهار این بیماری کمک می‌کند. مقادیر بالای آمونیوم (درمقایسه با نیترات) سبب افزایش پژمردگی به‌وسیله‌ی قارچ فوزاریم می‌شود. بخاردادن[3] و یا ضد عفونی‌کردن شیمیایی[4] یک روش عملی برای مهار تعدادی از عوامل بیماری‌زا در خاک‌های گل‌خانه‌ای است. هرچند باید به‌خاطر داشت، که ضدعفونی‌کردن ریزجانداران مفید، مانند قارچ ریشه‌ها، و همین‌طور عوامل بیماری‌زا را با هم از بین خواهد برد، و بنابراین ممکن است خسارت آن از نفع آن بیشتر باشد.



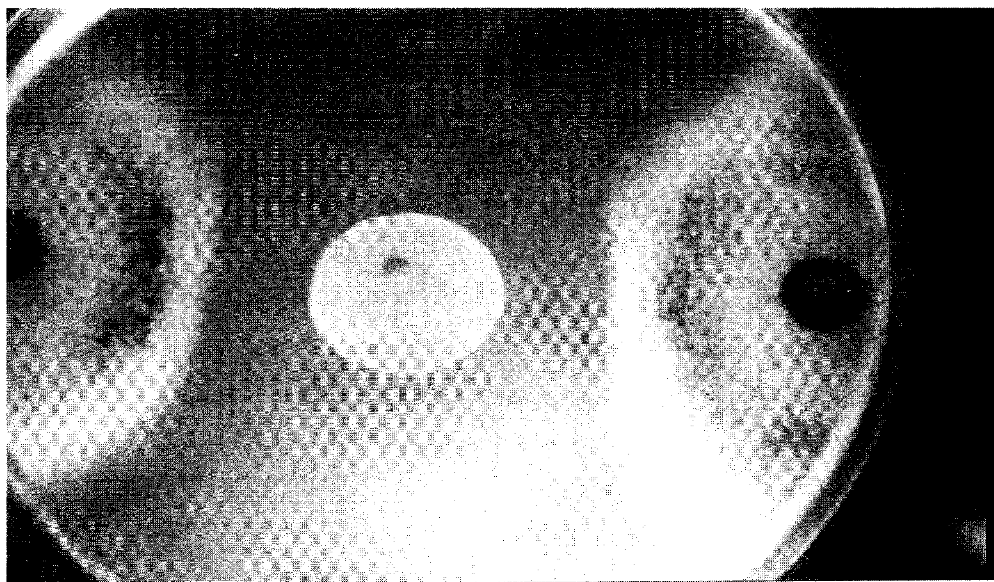
شکل ۲۴-۱۱ عوامل بیماری خاکزی سبب خساراتی به ریشه و همین‌طور سایر اعضاء زیرزمینی می‌شوند. این سیب‌زمینی مورد حمله اکتینومیست عامل گال سیب‌زمینی گردیده که ممکن است در خاک‌ها با pH حد . بالاتر از ۵ وجود داشته باشند.

خاک‌های فرونشاننده امراض[5]: تحقیقات درمورد امراض گیاهی از پاخوره‌ی گندم[6] در ایالت واشنگتن گرفته تا پژمردگی حاصل از فوزاریم موز در آمریکای مرکزی وجود خاک‌های مهارکننده بیماری را به اثبات رسانده است که در آن‌ها بیماری خاص قادر به توسعه نبوده، هرچند عامل بیماری‌زا و میزبان حساس نیز وجود داشته‌اند. دلیل این‌که خاک‌های خاص عاری از بیماری می‌گردند هنوز معلوم نشده است اما شواهد زیادی به نقش باکتری‌ها و قارچ‌های ناهمساز که عوامل بیماری‌زا را مهار می‌کنند، اشارت دارند.

در بعضی موارد خاصیت فرونشاندن بیماری در طول تک‌کشتی محصول در طولانی مدت به‌دست می‌آید. تجمع عوامل بیماری‌زا در طول چند سال اول نهایتاً به‌وسیله‌ی تجمع موجودات ضد آن‌ها کم اهمیت می‌گردد(شکل ۲۵-۱۱). در سایر موارد، مقادیری زیاد و متفاوت از مواد قابل‌تجزیه‌ی آلی وآهک برای تقویت فعالیت شدید و تنوع میکروبی می‌توانند به خاک اضافه شوند که به‌نوبه‌ی خود سبب ایجاد خاصیت فرونشاندن عوامل بیماری‌زای خاکی عمومی بیشتری گردد. متخصصین باغبانی در مهار بیماری فوزاریم با تعویض مواد مخلوط گلدانی سنتی با کمپوست پوست درختان موفق شده‌اند. ظاهراً تعداد زیادی از موجودات ناهمساز با بیماری در داخل ماده‌ی آلی در مراحل آخر کمپوست‌سازی تجمع می‌یابند.

---

1 - Potato Scab
2 - Spring dead
3 - Steam
4 - Chemical sterlization
5 - Disease-suppresive soils
6 - Take.all





شکل ۲۵-۱۱ مبنای زیستی خاک‌های فرونشاننده امراض در مهار بیماری پاخوره‌ی گندم. در قسمت بالا در وسط ظرف پتری مجموعه‌ای از باکتری‌های *Pseudomonas* از ریزوسفر گندمی که در خاک‌هایی دارای خاصیت فرونشانی بیماری پاخوره است، جدا گردیده و کشت شده است. جمعیت سدموناس یک آنتی‌بیوتیک تولید می‌کند که برای قارچ *Gaeumannomyces graminis* (قارچ بیماری‌زا که سبب ایجاد بیماری پاخوره‌ی گندم می‌گردد) سمی می‌باشد. این باکتری از رشد جمعیت عوامل بیماری‌زا در وسط پتری ممانعت می‌کند. (قسمت پایین) این کرت‌ها در ایالت واشنگتن شرقی برای مدت ۱۵ سال انحصاراً تحت کشت گندم بوده و جمعیت زیادی از موجودات ضد عامل بیماری پاخوره‌ی گندم تولید کرده‌اند. در پانزدهمین سال مطالعه، قارچ *G.graminis* برای مقاصد آزمایشی تلقیح گردید اما بیماری در مناطقی گسترش یافت (به‌صورت کرت‌های دارای رنگ سفید که قبل از رشد کامل رسید دانه مشاهده می‌شوند) که خاک قبل از تلقیح با قارچ به‌وسیله‌ی گازها ضدعفونی شده بود. بخارات سمی اکثر موجودات ناهمساز را از بین برده و قارچ‌های بیماری‌زا را برای آلوده‌کردن نباتات آزاد گذاشته بود.

استتار ریزوسفر[1]: بسیاری از گونه‌ها و یا ارقام گیاهی درمقابل امراض خاص ناشی از خاک مقاوم می‌باشند. برطبق تحقیقات جدید، این نباتات که درمقابل امراض خاکزی مقاومند دارای ریزوسفر استتاری می‌باشند، و آن به‌این‌صورت است که هرچند ریزوسفر این گیاهان مقاوم از نظر تعداد میکروب‌ها غنی است، اما نوع میکروب‌های آن درمقایسه، برخلاف میکروب‌های ریزوسفر ارقام حساس، بسیار شبیه

---

[1] - Rhizosphere camouflage

میکروب‌های کل خاک است. ممکن است با داشتن جامعه میکروبی مشابه جامعه میکروبی توده خاک ریزوسفر این گیاهان کمتر برای عوامل بیماری‌زا جذاب باشند. ممکن است عملیات کشت‌وکار که سبب اضافه‌شدن مقادیر زیادی مواد آلی تازه به خاک می‌شوند باعث گردند که جامعه‌ی میکروبی خاک بسیارشبیه جامعه میکروبی ریزوسفرگردیده، و بنابراین سبب استتار آن و محدودکردن امراض ریشه گردند.

رقابت برای عناصر غذایی: ممکن است ریزجانداران خاک در رقابت برای به‌دست‌آوردن عناصر غذایی حداقل به‌طور موقتی سبب بروز خساراتی به گیاهان عالی گردند. موجودات خاک می‌توانند عناصر غذایی اساسی را به سرعت جذب یاخته‌های خود کرده و برای گیاهان عالی آن‌چه باقی‌مانده است، به‌جای بگذارند. نیتروژن عنصری است که معمولاً بیشترین رقابت برای جذب آن به‌عمل می‌آید، گرچه رقابت مشابهی برای فسفر، پتاسیم، کلسیم و حتی عناصر کم‌مصرف نیز رخ می‌دهد. این موضوع در جزییات بیشتر در فصل ۱۲ و ۱۳ موردتوجه قرار گرفته است.

کاهش عرضه‌ی اکسیژن: درشرایط زه‌کشی ناقص ممکن است ریزگیاهان فعال خاک اکسیژن محدود از قبل را به اتمام برسانند. این تخلیه اکسیژن ممکن است به دو طریق در گیاهان اثرات منفی داشته باشد. اول این‌که ریشه گیاهان یک حداقل اکسیژن را برای رشد عادی و جذب عناصر غذایی لازم دارد. دوم این‌که اشکال اکسید شده‌ی عناصر متعدد نیتروژن، گوگرد، آهن و منگنز با فعالیت میکروبی بیشتر احیاء خواهند شد. در مورد نیتروژن و گوگرد، بعضی از اشکال احیاءشده گازی بوده و ممکن است به نیوار باز گردند (فصل ۹-۱۳ را مشاهده کنید) بنابراین، تأمین نیتروژن گیاهان را کاهش خواهد داد. ممکن است در خاک‌های که کاملاً اسیدی هستند، احیاء آهن و منگنز به‌وسیله‌ی باکتری‌ها قابلیت انحلال این عناصر را چنان بالا ببرد که به حد سمیت برسند. بنابراین، کمبود وسمیت عناصر غذایی ناشی از فعالیت میکروبی می‌تواند در شرایط غیرهوازی حاصل گردد.

۱۵-۱۱ رابطه بوم‌شناختی بین موجودات خاک

همکاری‌های دوجانبه

پیشتر اشاره کردیم که تعدادی از همکاری‌های دوطرفه‌ی مفید بین ریشه گیاهان و موجودات خاک (برای نمونه گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و قارچ ریشه) و بین ریزجانداران متعدد (برای مثال گلسنک) وجوددارد. سایر مثال‌ها از این همکاری‌ها در خاک فراوان است. برای مثال جلبک‌های دارای سوخت‌وساز نوری در یاخته تک‌یاخته‌گان خاص جایگزین می‌شوند. در بین انواع مختلف همکاری، همکاری جلبک و قارچ در رو و یا در داخل خاک‌ها و سنگ‌ها، در چرخه عناصر تولید زیتوده در نظام‌های بیابانی بسیار مهم می‌باشند.

تعامل رقابتی

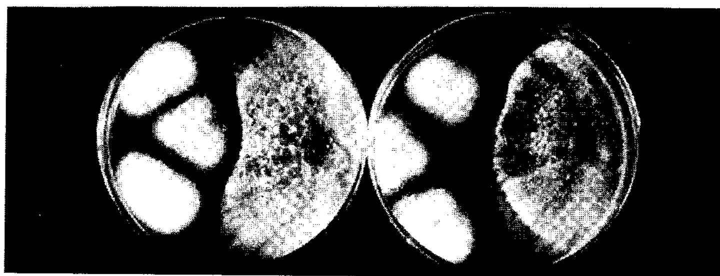
رقابت برای غذا: جمعیت میکروب‌های خاک معمولاً محدود به عرضه‌ی مواد غذایی بوده و با دردسترس قرارگرفتن زیادتر مواد آلی به‌سرعت افزایش می‌یابد. درنتیجه خاک یک محیط رقابتی شدید برای خاکزیان ذره‌بینی خود فراهم می‌کند. وقتی ماده‌ی آلی تازه اضافه می‌شود، موجودات ناخودپرور قوی خاک (باکتری‌ها، قارچ‌ها و اکتینومیست‌ها) با همدیگر به‌خاطر این منبع غذایی رقابت می‌کنند. اگر قند، نشاسته و اسیدآمینه‌ها در ماده‌ی آلی قابل‌استفاده باشد، ابتدا باکتری‌ها غالب می‌شوند زیرا این موجودات به‌سرعت تکثیر یافته و این ترکیبات ساده را ترجیح می‌دهند. به‌محض تجزیه این ترکیبات ساده، قارچ‌ها، به‌خصوص اکتینومیست‌ها، بیشتر رقابت می‌کنند.

آنتی‌بیوتیک‌ها و سازوکارهای رقابتی : میکروب‌های خاک از روش‌های مبارزه مختلف زیادی در رقابت مرگبار خود استفاده می‌کنند. موجودات خاصی میزان اسیدیته را در پیرامون خود برای عدم استفاده رقیبان تغییر می‌دهند. دیگران موادی تولید می‌کنند (سایدروفر[1]) که چنان وارد پیوند با آهن می‌شود که دیگر موجودات در پیرامون بسیار نزدیک آن‌ها نمی‌توانند به‌خاطر کمبود این عنصر اساسی رشد کنند. باکتری‌ها، قارچ‌ها و اکتینومیست‌های خاص خاک تولید آنتی‌بیوتیک‌هایی می‌کنند، ترکیباتی که انواع مخصوص از دیگر جانداران در تماس با آن‌ها از بین می‌روند(شکل۲۶-۱۱). کشف این تولیدات آنتی‌بیوتیکی پیشرفت تاریخی مهمی درعلوم پزشکی داشته است. بسیاری از آنتی‌بیوتیک‌ها که در حال حاضر برای معالجه امراض انسان و حیوانات در بازار موجودند مانند پنی‌سیلین، استرپتومایسین و اورومایسین[2] به‌وسیله‌ی موجودات خاک تولید می‌شوند. وقتی این فعالیت‌ها و دیگر فعالیت‌های ناهمساز[3] ریزجانداران خاک در برابر موجودات دارای

---

1 - Sideropheres
2 - Aureomycine
3 - Antagonist

توان ایجاد بیماری‌های گیاهی قرار گیرد، توقف شدید امراض گیاهی آشکار خواهد شد. زیست‌بوم‌شناسان میکروب‌ها در تلاشند بعضی از سازوکارهای رقابتی را به نفع ریزجانداران مطلوب خاک تحت تنظیم آورند (تابلو ۱-۱۱)



شکل ۲۶-۱۱ ناهمسازی قارچی. سه کلنی کوچک‌تر در هر ظرف یک ترکیب آنتی‌بیوتیک ترشح می‌کنند که از توسعه‌ی کلنی بزرگ‌تر قارچی در نصف ظرف مربوط به خود جلوگیری می‌کند. به منطقه روشن در پیرامون هر یک از کلنی‌های تولیدکننده‌ی آنتی‌بیوتیک توجه کنید.

اثرات عملیات کشاورزی در موجودات خاک

تغییر در محیط سبب تأثیر در تعداد و تنوع موجودات خاک می‌شود. جنگل‌تراشی و شخم‌زدن مراتع برای کشاورزی سبب تغییر شدید محیط خاک خواهد شد. اول این‌که کمیت و کیفیت پس‌ماندهای گیاهی (غذا برای موجودات) به‌طور مشخص کاهش خواهد یافت. همین‌طور تعداد گونه‌های گیاهان عالی کاهش پیدا می‌کند. تک‌کشتی و حتی تناوب معمول نباتات، دامنه‌ی باریک‌تری از نباتات اصلی و ریزوسفر درمقایسه با آن‌چه طبیعت برای جنگل ومرتع فراهم می‌آورد ایجاد می‌کند.

درحالی‌که عملیات کشاورزی اثرات مختلفی بر موجودات مختلف اعمال می‌کنند، یک جمع‌بندی کلی قابل‌ارائه می‌باشد. جدول (۶-۱۱) بعضی از اصول را که در ارتباط با تنوع و جمعیت کل موجودات خاک است تشریح می‌کند. برای مثال، بعضی از عملیات کشاورزی معمولاً سبب کاهش تنوع گونه‌ها و همین‌طور جمعیت کل موجودات خواهد شد (به‌طور نمونه عملیات خاک‌ورزی زیاد و تک‌کشتی). گرچه تک‌کشتی می‌تواند سبب افزایش جمعیت چند گونه‌ی محدود شود.

جدول ۶-۱۱ اثرات کلی عملیات مهم مدیریت خاک در تنوع کلی و فراوانی موجودات خاک. توجه کنید عملیاتی که سبب ارتقاء تنوع زیستی و فعالیت موجودات خاک می‌گردند همان‌هایی هستند که در تلاش برای پایداری نظام‌های کشاورزی نیز نقش دارند.

کاهش تنوع و جمعیت	افزایش تنوع و جمعیت
بخارات سمی	استفاده‌ی مناسب از کود شیمیایی
نماتدکش‌ها	مصرف آهک در خاک‌های اسیدی
بعضی از حشره‌کش‌ها	روش آبیاری مناسب
تراکم خاک	زه‌کشی و تهویه بهتر
فرسایش خاک	کود دامی و کمپوست
ضایعات صنعتی و فلزات سنگین	لجن فاضلاب خانگی (تمیز)
گاوآهن برگردان‌دار، هرس دندانه‌ای	خاک‌ورزی کاهش‌یافته یا صفر
تک‌کشتی	تناوب زراعی
گیاهان ردیفی	مراتع – چمن نیام‌داران
آیش لخت	گیاهان پوششی و آیش با خاک‌پوش
سوزاندن یا بیرون بردن پس‌مانده‌ی گیاهی	برگشت پس‌مانده گیاهی به سطح خاک
خاک‌پوش‌های پلاستیکی	خاک‌پوش‌های آلی

افزودن آهک و کودها (کودهای شیمیایی و کود دامی) به یک خاک غیرحاصل‌خیز معمولاً سبب افزایش فعالیت میکروب‌ها و جانوران عمدتاً به‌خاطر افزایش زیتوده‌ی نبات است که به‌صورت ریشه، ترشحات ریشه و پس‌ماندهای گیاهی به خاک باز می‌گردد. عملیات خاک‌ورزی ازطرف دیگر دارای نقش بسیار مهمی در به‌هم‌زدن بوم‌سامان، قطع ریسه قارچ‌ها و حفره‌های کرم‌های خاکی و همچنین تسریع

تجزیه و از بین‌رفتن ماده‌ی آلی خواهد شد. بنابراین نظام خاک‌ورزی کاهش[1] یافته تمایل دارد که نقش قارچ‌ها را درمقایسه با باکتری‌ها افزایش دهد، و به‌طور کلی با تجمع ماده‌ی آلی در این نظام سبب افزایش جمعیت تمام موجودات گردد (جدول۷-۱۱). اضافه‌کردن کود دامی سبب تحریک فعالیت میکروب‌ها و جانوران خاک (به‌خصوص کرم‌های خاکی)، حتی به‌مقدار بیشتری خواهد شد.

اثر آفت‌کش‌ها در بوم‌شناسی خاک (فصل ٤-١٨ را مشاهده کنید). بسیار متفاوت است، گازهای سمی و نماتدکش‌ها می‌توانند به‌سرعت جمعیت موجودات را کاهش دهند، به‌خصوص در مورد جانوران خاک این کاهش حداقل موقتی صورت می‌گیرد. از طرف دیگر استفاده از آفت‌کش به‌خصوص اغلب سبب افزایش جمعیت ریزجانداران خاص خواهد شد دلیل آن ممکن است مصرف آفت‌کش به‌عنوان غذا به‌وسیله‌ی ریزجاندار، و یا با احتمال بیشتر ازبین‌رفتن شکارچی آن ریزجاندار به‌وسیله‌ی علف‌کش باشد، شکل ۲۸-۱۱ تشریح می‌کند که چگونه عملیاتی که گروهی از ریزجانداران را تحت تأثیر قرار می‌دهد در روی سایر گروه‌ها نیز اثر گذاشته و نهایتاً بر روی توان تولید خاک و نقش خاک در زیست‌بوم مؤثر خواهد بود. عاقلانه این است که به یاد آوریم که روابط بین جانداران خاک بسیار پیچیده است و پیش‌بینی اثرات هر نوع آشفتگی در نظام مشکل می‌باشد.

تابلو ۱-۱۱ انتخاب یکی از دو طرف در جنگ بین میکروب‌ها

پیشرفت‌های جدید در دانش ما از توارث میکروب‌ها همراه با فناوری جدید در انتقال مواد توارثی در بین گونه‌های مختلف ریزموجودات، فرصت‌های بسیار جالب و امید بخشی را برای دانشمندان برای پیوستن به جنگ میکروبی در خاک ایجاد کرده است.

دانشمندان روش‌های جدیدی را برای مهارکردن تضاد دیرینه موجود در بین ریزجانداران در حال تدارک می‌باشند دو نمونه عبارتند از (۱) ابداع روش‌های برای عمل‌آوری بذر با مصرف باکتری که بتواند در مقابل قارچ‌های بیماری‌زا از خود دفاع کند و (۲) معرفی باکتری ریزوبیوم مجهز به سلاح شیمیایی که بتواند زارعین را قادر سازد از نژادهای اصلاح شده باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در محصولات نیام‌دار استفاده کنند.

نمونه اول یعنی عمل‌آوری بذر با مهارکننده‌ای زیستی حال به‌طور اقتصادی قابل‌دسترسی است. این عمل‌آوری به‌جای استفاده از قارچ‌کش‌های شیمیایی برای حفظ بذر از عوامل بیماری‌زای پوسیدگی ریشه در خاک از باکتری‌های ناهمساز استفاده می‌کند. این باکتری‌های محافظ از نژادهای *Pseudomonas flourescens* بوده که به‌طور خاص انتخاب گردیده و ارتقاء یافته‌اند. این گونه باکتری ریزوسفر را مهار کرده و ریشه گیاهان را از امراض ناشی ازخاک محافظت می‌کنند. وقتی این باکتری‌ها در جوی محل کشت بذر گندم مصرف شد، بذور گندم در خاکی که دارای قارچ پوسیدگی بود به‌طور سالم جوانه زدند. بذرهای کاشته‌شده بدون مصرف باکتری قبل از جوانه‌زدن پوسیدند شکل (۲۷-۱۱). استفاده گسترده از این فناوری در محافظت بذر به‌جای روش مرسوم استفاده از مواد شیمیایی قارچ‌کش سبب کاهش بار آلودگی ترکیبات سمی در طبیعت خواهد شد.

مثال دوم شامل استفاده از مهندسی توارث برای مؤثربودن ریزوبیوم تلقیحی است. دانشمندان در پیداکردن نژادهای ریزوبیوم و برادی‌ریزوبیوم[2] که دارای توانایی بهتر تثبیت نیتروژن مولکولی می‌باشد کاملاً موفق شده‌اند. متأسفانه موفقیت عملی اندکی در استفاده از این نژادهای اصلاح‌شده برای ارتقاء تثبیت نیتروژن در شرایط مزرعه به‌دست آمده است. مسأله این است که اکثر خاک‌ها دارای جمعیت بزرگی از نژادهای بومی ریزوبیوم است که درعین‌حال که از نظر تثبیت نیتروژن خیلی کارا نمی‌باشند، در تشکیل گره در محل‌های آلوده در روی ریشه‌ها خانواده نیام‌داران رقیب شدیدی می‌باشند. به‌خاطر رقابت موفقیت‌آمیز ریزوبیوم بومی برای بقا در خاک و تشکیل گره در روی ریشه نیام‌داران، ارقام اصلاح‌شده ریزوبیوم معمولاً موفقیت اندکی دارند، حتی در مواردی که مقادیر زیادی از باکتری‌های تلقیحی با بذر نیام‌دار و یا در خاک محل کشت بذر مصرف شده است بخش اکثر گره‌های تشکیل شده به روی ریشه نیام‌دار (۸۰ تا ۹۵درصد) به‌وسیله‌ی نژادهای بومی بوده است. برای استفاده از توانایی بیشتر گونه‌های اصلاح‌شده در تثبیت نیتروژن ضروری است که به این ارقام اصلاح‌شده یک حاشیه‌ی رقابتی در مقابل پسرعموهای بومی آن‌ها اعطاء گردد. دکتر اریک تریپلت[2] و همکاران ایشان در دانشگاه ویزیسکانسین کشف کرده‌اند که رقم *Rhizobia leguminosarium bv trifoli* ماده‌ای تولید می‌کند که آن‌ها آن را تریفولیتوکسین[3] نامیده‌اند که دیگر ارقام ریزوبیوم را مهار کرده اما بر ارقامی که آن را تولید کرده‌اند، تأثیری ندارد (فیت موریس۱۹۹۵[4]). بعد از

---

[1] - Reduced tillage

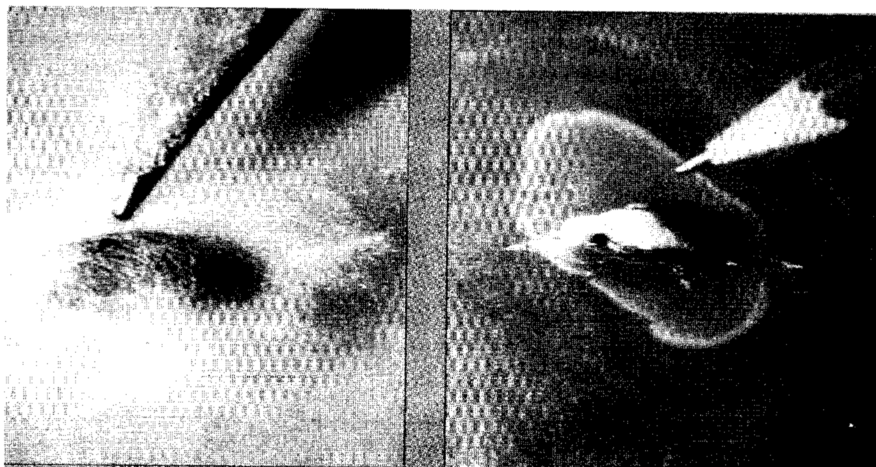
[2] - *Bradyrhizobium*

[2] - Dr. Eric Triplet

[3] – Trifolitoxin

[4] - Fitzmaurice

سردرآوردن از توالی رشته ژن‌های مهارکننده‌ی تولید و واکنش به تریلفولی توکسین، دانشمندان توانستند که ژن‌های مربوطه را به سایر ارقام ریزوبیوم انتقال دهند. امید آن‌ها این است که با مسلح‌شدن با این نژادهای برتر ریزوبیوم، که از نظر تثبیت نیتروژن بسیار کارا می‌باشند، بتوانند نژادهای بومی دارای کارایی کمتر را در رقابت برای تشکیل گره‌ها بر روی ریشه گیاهان نیام‌دار از میدان بیرون کنند. اگر در این راه موفقیت حاصل شود، استفاده از تضاد میکروبی می‌تواند سبب ارتقاء تثبیت نیتروژن به‌وسیله‌ی گیاهان نیام‌دار گردد که پیامد آن فزونی عملکرد گیاهان و افزایش امکان جایگزینی نیتروژن حاصل از تثبیت زیستی به‌جای نیتروژن کود شیمیایی در تولید گیاهان غیرنیام‌دار است که توأم با گیاهان نیام‌دار و یا در تناوب با آن‌ها کاشته می‌شوند.



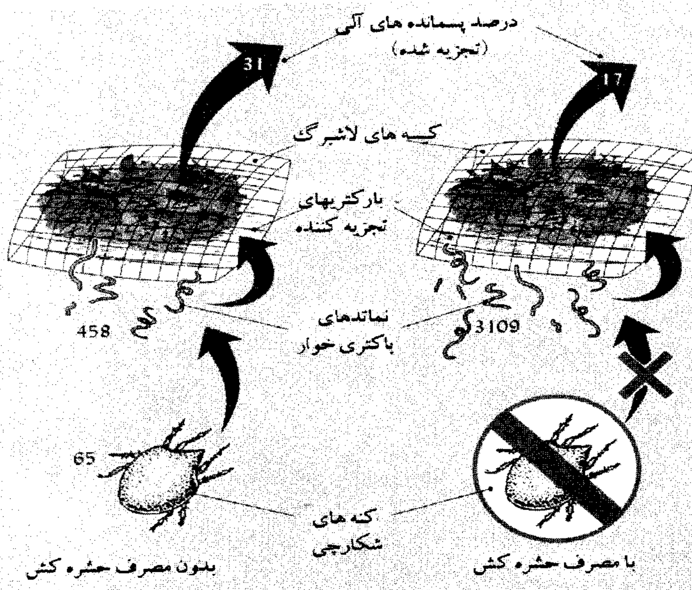
شکل ۲۷-۱۱ (سمت راست) بذر گندم که به‌وسیله‌ی باکتری‌های رقیب محافظت شده بود سالم باقی ماند در حالی‌که (سمت چپ) بذر محافظت نشده به‌وسیله‌ی قارچ‌های بیماری‌زا به‌شدت آلوده گردید

جدول ۷-۱۱ زیتوده‌ی کربن گروه‌های میکروبی و جانوری در یک خاک کشاورزی در ایالت جورجیا تحت مدیریت خاک‌ورزی گاوآهن برگردان‌دار و یا بدون خاک‌ورزی.

خاک لوم‌شنی سری هیاواسی[1] (کنهاپلو دولت) با ذرت علوفه‌ای کشت‌شده در هر تابستان و گیاه پوششی چاودار کشت‌شده در هر زمستان، در شخم گاوآهن، پس‌ماندهای گیاهی با خاک مخلوط شده اما در خاک‌ورزی فاقد شخم و شیار پس‌ماندها به‌صورت خاک‌پوش سطحی باقی‌ماندند. وظایف تجزیه‌کردن، تغذیه‌کردن از ریزگیاهان و ریزه‌خواری به‌وسیله‌ی موجودات بزرگ‌تر (قارچ‌ها ریزبندپایان و کرم‌های خاکی) در نظام بدون عملیات خاک‌ورزی انجام گرفت در حالی‌که موجودات کوچک‌تر (باکتری‌ها، تک‌یاخته‌گان، نماتدها و کرم‌های اینکی‌تراید) در نظام گاوآهن غالب بودند.

گروه جانداران	عمق (سانتی‌متر)	میزان کربن kg/ha	
		بدون شخم	با شخم
قارچ‌ها	۰ – ۵	۳۶۰	۲۴۰
باکتری‌ها	۰ – ۵	۲۶۰	۲۷۰
تک‌یاخته‌گان	۰–۲۱	۲٤	۳۹
نماتدها	۰–۲۱	–	–
قارچ‌خورها	۰–۲۱	۰/۱٤	۰/٤۷
باکتری‌خورها	۰–۲۱	۰/۸۲	۱/۲۷
ریزبندپایان	۰ – ۵	۱/۳۱	۰/٤۹
اینکی‌تراید‌ها	۰–۱۵	۵/۵۵	٤/۷۹
کرم‌های خاکی	۰–۱۵	٦۰	۲۱

[1] - Hiawassee, Sandyloam, Kanhapludults



شکل ۲۸-۱۱-اثرات غیرمستقیم مصرف حشره‌کش‌ها بر تجزیه‌ی لاشبرگ بوته کروزت در بوم‌سامان بیابانی. کیسه‌های پراز برگ و ساقه‌های بوته‌ی کروزوت در داخل خاک‌های بیابان در ایالات آریزونا، نوادا و کالیفرنیا در تیمارهایی با مصرف حشره‌کش (کلردان) و یا بدون مصرف آن مدفون گردیده حشره‌کش در واقع تمام حشرات و کنه‌ها را از بین برد. بدون کنه‌های شکارچی برای مهار نماتدهای باکتری‌خوار، تعداد آن‌ها به‌سرعت چند برابر شد و بخش عمده‌ای از جمعیت باکتری‌هایی که مسوول تجزیه لاشبرگ در چرخه‌ی عناصر غذایی هستند، به‌وسیله‌ی آن‌ها بلعیده گردید. بنابراین مصرف حشره‌کش میزان تجزیه‌ی لاشبرگ را به نصف کاهش داد. این عمل نه با اثر مستقیم بر باکتری‌ها بلکه غیرمستقیم با از بین بردن شکارچی آن‌ها انجام گرفت..

۱۱-۱۶ ریزجانداران حاصل از مهندسی ژنتیک (ترا ریخت)

پیشرفت‌ها در زیست‌شناسی مولکولی به دانشمندان اجازه داده است که تشخیص دهند کدام ژن‌های خاص و یا قطعاتی از مواد توارثی (DNA و یا RNA) برای یک رفتار خاص در یک جاندار خاص مسوول می‌باشند. به‌علاوه، دانشمندان فناوری‌هایی برای انتقال این مواد توارثی به سایر جانداران، نه الزاماً جانداران وابسته، ابداع نموده‌اند. این فناوری‌ها امکان مهندسی و ساخت ترکیبات جدید توارثی و ایجاد موجودات نوترکیب توارثی[1] را که در طبیعت وجود ندارد، فراهم ساخته است. توان استفاده از ریزجانداران حاصل از مهندسی ژنتیک[2] در محیط خاک بسیار زیاد است. خاک‌هایی که قبلاً به‌وسیله‌ی مواد شیمیایی دچار آلودگی شده‌اند، می‌توانند به‌وسیله‌ی باکتری‌های خاک که توانایی‌های بالایی برای تخریب آلاینده‌های خاص آلی (به‌خصوص سموم مصنوعی) به آن‌ها اعطاء شده است تمیز گردد (فصل ٦-١٨ را مشاهده کنید). سایر ریزجانداران حاصل از مهندسی ژنتیک (GEMs) سم‌های ایجاد می‌کنند که سبب ازبین‌رفتن عوامل بیماری‌های و یا آفت‌های گیاهی خواهد شد. نمونه این‌کار انتقال ژن‌هایی از باکتری خاک *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) به نژادی از باکتری *Pseudomonas fluorescens* است که با ریزوسفر نبات ذرت سازگار شده است. ژن‌های انتقال‌یافته مسوول تولید یک نوع پروتیین یا سم Bt هستند که سبب ازبین‌رفتن نوزاد حشره ساکن در خاک (کرم ریشه ذرت) می‌شود که حمله آن‌ها به ریشه سبب کاهش عمده‌ای در محصول خواهد شد. سایر توان‌های استفاده از GEMs افزایش تثبیت نیتروژن در ریشه و یا ریزوسفر، بالابردن کارایی قارچ ریشه و افزایش ناهمسازی در مقابل عوامل بیماری‌زای گیاهی می‌باشند.

استفاده از GEMs خطر بروز اثرات جانبی نامطلوب را به‌دنبال داشته که پیش‌بینی آن‌ها مشکل است. در زیست‌بوم خاک تغییر در هر جزء سبب تغییر در بسیاری از اجزاء دیگر خواهد شد. همچنین جانداران غیرمورد نظر ممکن است از بین روند (برای نمونه کولومبلا به‌وسیله‌ی Bt GEM از بین می‌رود) و سبب کاهش تنوع زیستی و ازبین‌رفتن تعادل بوم‌شناختی گردد. برای به‌حداقل‌رساندن خطرات تغییر بوم‌سامان براثر تسخیر آن به‌وسیله‌ی بزرگ آفات[3]، ریزجانداران حاصل از مهندسی ژنتیک باید چنان تغییر یابند که توانایی آن‌ها برای تکثیر و زنده‌مانی در داخل خاک ضعیف گردد. برای مثال به بعضی ازGEMs ژن‌هایی که به ژن‌های خودکشی‌کننده مشهورند انتقال می‌دهند که باعث می‌شود جاندار در اثر شرایط خاص از بین برود.

نگرانی بیشتر احتمال انتقال مواد توارثی (براثر آلودگی ویروسی و یا انتقال قطعاتی از DNA فاقد کروموزوم دربین باکتری‌ها) به موجودات بومی است که با زنده‌مانی و توزیع در خاک به‌خوبی تطابق یافته‌اند و ممکن است شدت عوامل بیماری‌زای موجود را افزایش

---
1 - Recombinant organisms
2 - Genetically Engineered microorgnnisms (GEM_S)
3 -Superbugs

دهند. به‌علاوه مهندسین ژنتیک از ژن‌های مقاوم در مقابل آنتی‌بیوتیک‌ها به‌عنوان شاخص (مارکر) برای ردیابی مواد توارثی که آن‌ها در تلاش دست‌کاری و انتقال آن‌ها می‌باشند، استفاده می‌کنند. نگرانی در اینجا آن است که ممکن است مقاومت آنتی‌بیوتیک‌ها از مواد حاصل از مهندسی ژنتیکی به سایر میکروب‌ها انتقال یافته و به آن‌ها یک حاشیه رقابتی اعطا کند که مجدداً سبب به‌هم خوردن تعادل بوم‌شناختی گردد. احتمالاً بدترین سناریو که به‌نظر اکثر دانشمندان بسیار غیرمحتمل اما غیرممکن هم نیست، انتقال شاخص‌های مقاوم در مقابل آنتی‌بیوتیک‌ها به بیماری‌های انسان است که سبب بی‌فایده‌بودن داروهای نجات بخش انسانی گردد. پرسش‌های مداوم در باره این نگرانی‌ها نیازمند آزمون و احتیاط هرچه بیشتر در رهاکردن مواد حاصل از مهندسی ژنتیک در محیط خاک است.

۱۷-۱۱ نتیجه‌گیری نهایی

خاک یک نظام پیچیده با جوامع متنوع از جانداران می‌باشد. موجودات خاک برای تداوم چرخه زندگی در کره زمین حیاتی هستند آن‌ها پس‌ماندهای گیاهی و حیوانی را با خاک مخلوط نموده، آن‌ها را هضم و جذب کرده، گازکربنیک را به نیوار برگردانده، که می‌تواند به‌وسیله‌ی گیاهان عالی در چرخه‌ی مجدد (بازچرخ) قرار گیرد. همزمان با این فعالیت‌ها آن‌ها هموس را ایجاد می‌کنند. آن بخش از ماده‌ی آلی که برای ایجاد شرایط فیزیکی و شیمیایی مناسب خاک بسیار حیاتی می‌باشد.

درحین هضم مواد آلی، ریزجانداران سبب آزادشدن عناصر غذایی در اشکال معدنی می‌گردند که می‌تواند به‌وسیله‌ی ریشه گیاهان جذب‌شده، ویا از خاک به طبقات پایین آبشویی گردد. آن‌ها همچنین برروی رنگ خاک ازطریق واکنش‌های اکسایش-احیاء تأثیر می‌گذارند.

حیوانات، به‌خصوص کرم‌های خاکی، مسوول مخلوط‌کردن مکانیکی پس‌ماندها به‌داخل خاک و بازگذاشتن مجراهایی می‌باشند که در داخل آن آب و هوا جریان دارند. ریزجانداران مانند قارچ‌ها، اکتینومیست‌ها و باکتری‌ها دارای نقش اصلی برای تجزیه‌ی اکثر مواد آلی می‌باشند، اگرچه فعالیت آن‌ها تا حد زیادی تحت تأثیر جانداران خاک است. بعضی از این ریزجانداران با گیاهان عالی همزیست بوده و نقش خاصی در تغذیه‌ی گیاهی و چرخه‌ی عناصر غذایی ایفا می‌کنند. رقابت در بین میکروب‌های خاک، و بین آن‌ها و گیاهان عالی برای عناصر غذایی معدنی، می‌تواند سبب کمبود این عناصر در نبات گردد. نیازهای میکروبی در تعیین موفقیت اکثر نظام‌های مدیریتی خاک نقشی تعیین‌کننده دارد. ریزجانداران حاصل از مهندسی ژنتیک نوید بخش افزایش فعالیت مفید میکروبی بوده اما باید با احتیاط مورد استفاده قرار گیرند، زیرا آن‌ها دارای توان ایجاد مشکلات ناخواسته‌ی جانبی در نظام خاک می‌باشند.

جانداران خاک برای ایفای نقش کارا نیازمند انرژی و عناصر غذایی هستند که برای به‌دست‌آوردن آن آن‌ها ماده‌ی آلی را تجزیه کرده و با باقی‌گذاشتن ترکیباتی که برای گیاهان عالی مفیدند منجر به ایجاد هموس می‌گردند. این فرایندهای تجزیه، و اهمیت عملی آن‌ها در فصل بعد که با ماده‌ی آلی خاک سروکار خواهد داشت مورد ملاحظه قرار خواهند گرفت.

سووالات برای مطالعه

۱- تنوع گسترده وظایف زیستی (Functional redundancy) چیست و چگونه کمک می‌کند بوم‌سامان در مقابل تنش‌های محیطی مانند آتش‌گرفتن، قطع کامل درختان و یا شخم‌وشیار به نقش خود ادامه دهد؟

۲- در مثالی که در جدول ۷-۱۱ تشریح شد، در صورت وجود، موجوداتی را که نقش تولیدکننده‌گان اولیه، مصرف‌کننده‌گان اولی و دومی و سومی را دارند مشخص کنید.

۳- راه‌هایی را که جانوران با اندازه‌ی متوسط نقش مهمی در سوخت‌وساز خاک ایفا می‌کنند بیان کنید، هرچند زیتوده و فعالیت تنفسی آن‌ها بخش کوچکی از کل در داخل خاک می‌باشد.

٤- چهار نوع سوخت‌وساز اصلی که به‌وسیله‌ی موجودات خاک در ارتباط با منبع انرژی و کربن آن‌ها انجام می‌شود بیان کنید.

۵- نقش O_2 در سوخت‌وساز هوازی کدامست؟ چه عناصری جای آن‌را در شرایط غیرهوازی می‌گیرند؟

٦- گفته می‌شود میکوریز یک همزیستی است، دو جزء این همزیستی کدام‌ها هستند و سودمندی هر جزء کدامست؟

۷- از چند طریق خاک در اثر فعالیت کرم‌های خاکی اصلاح می‌شود. آیا کرم‌ها دارای اثرات زیان‌بار نیز می‌باشند؟

۸- ریزوسفر چیست و تفاوت خاک آن با خاک در بقیه مناطق چگونه است؟

۹- اثرات خاک‌ورزی و مصرف کود دامی را بر تنوع و فراوانی موجودات زنده خاک تشریح کرده و مقایسه کنید.

۱۰- سودمندی‌های بالقوه و احتمال خطرات در رهاسازی ریز موجودات تراریخت کدام‌ها هستند ؟

زمین غنی و سیاه آرمیده بود و بـا نـوک
کج‌بیل آنان آسان وا می‌رفت
(پ س باک زمین خوب)

فصل ۱۲
ماده‌ی آلی خاک

طبق تعریف، تمام مواد آلی دارای کربن می‌باشند. میزان کربن مواد آلی خاک‌های جهان چهار برابر کربن موجود در پوشش گیاهی آن است بنابراین ماده‌ی آلی خاک یک نقش حیاتی در تعادل کربن روی زمین ایفا می‌کند، که به نظر می‌رسد عمده‌ترین عامل مؤثر در گرم شدن کره‌ی زمین و یا اثر گلخانه‌ای[1] باشد. گرچه ماده‌ی آلی بخش کوچکی از جرم کل را در اکثر خاک‌ها دارا می‌باشد، اما این جزء فعال خاک در بسیاری از خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک تأثیر غالب دارد.

ماده‌ی آلی خاک یک مخلوط پیچیده و متغیر از مواد آلی است. بیشتر ظرفیت تبادل کاتیونی و ظرفیت نگهداری آب، در خاک‌های سطحی به‌وسیله‌ی آنان تأمین می‌گردد. ترکیبات خاص ماده‌ی آلی در تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها دارای نقش عمده می‌باشند. ماده‌ی آلی خاک شامل مقادیر زیادی از عناصر غذایی گیاهی بوده که مشابه انبار برای ذخیره و رهاسازی آرام، به‌خصوص برای نیتروژن عمل می‌کند، به علاوه ماده‌ی آلی انرژی و مواد سازنده‌ی بدن اکثر ریزجانداران را که فعالیت کلی آنها در فصل ۱۱ مورد بحث قرار گرفت تأمین می‌کند.

علاوه بر افزایش رشد گیاهی از طریق اثرات فوق‌الذکر، ترکیبات خاص آلی موجود در خاک دارای اثرات مستقیم در تقویت رشد گیاهان می‌باشند. با توجه به تمام این دلایل، افزایش کمیت و کیفیت ماده‌ی آلی خاک عامل اصلی در اصلاح کیفیت خاک می‌باشد.

اول نقش ماده‌ی آلی را در چرخه جهانی کربن و فرایند تجزیه پس‌ماندهای گیاهی مورد بررسی قرار می‌دهیم، سپس توجه خود را به نهاده‌ها و هدررفت‌ها با توجه به کربن خاک در بوم‌سامان‌های خاص معطوف خواهیم داشت و در پایان به مطالعه فرایندها و پیامدهای موجود در مدیریت ماده‌ی آلی خاک خواهیم پرداخت.

۱-۱۲ چرخه‌ی جهانی کربن

عنصر کربن شالوده‌ی تمام حیات است. از سلولز گرفته تا سبزینه، ترکیباتی که بافت‌های زنده را تشکیل می‌دهند از اتم‌های کربن تشکیل گردیده‌اند که در رشته‌ها و یا حلقه هایی همراه با بسیاری از عناصر دیگر نظم و ترتیب یافته‌اند. چرخه‌ی کربن در روی زمین خود داستان حیات در این سیاره است. چرخه کربن دربرگیرنده‌ی کل است زیرا شامل خاک، گیاهان عالی از هر نوع، و تمام حیات جانوری از جمله انسان‌ها نیز می‌باشد، تخریب چرخه کربن به‌معنی مصیبت برای تمام موجودات زنده است.

مسیرهای چرخه‌ی کربن

مسیرهای اصلی موجود در چرخه جهانی کربن در شکل ۱-۱۲ آمده است. گیاهان گاز کربنیک را از نیوار اخذ کرده و سپس طی سوخت‌وساز نوری (فتوسنتز)، انرژی خورشیدی را به صورت پیوندهای کربن به کربن مولکول‌های آلی (شبیه آن‌چه در بخش ۱۲-۱۲ تشریح شده است) به دام بیاندازند. بعضی از این مولکول‌های آلی به‌عنوان منبع انرژی (طی فرایند تنفس) به‌وسیله‌ی خود گیاهان (به‌خصوص به‌وسیله‌ی ریشه گیاهان) مورد استفاده قرار گرفته، و کربن به‌صورت گازکربنیک به نیوار باز می‌گردد باقی‌مانده مواد آلی به طور موقتی به‌صورت تشکیل‌دهندگان پوشش گیاهی سرپا ذخیره می‌گردند که بیشترین مقدار آن نهایتاً به صورت لاشبرگ گیاهی (از جمله پس‌ماندهای گیاهی) و یا بقایای ریشه به خاک باز می‌گردند (بخش ۱۷-۱۱ را مشاهده کنید). ممکن است بعضی از مواد گیاهی به‌وسیله‌ی حیوانات (از جمله انسان) خورده شوند، که در آن صورت نصف کربن خورده شده به‌وسیله‌ی گازکربنیک بازدم به نیوار باز می‌گردد. کربنی که به نیوار باز نمی‌گردد به‌صورت فضولات، یا بافت‌های بدن مجدداً به خاک بر می‌گردد. بافت‌های گیاهی کربن ذخیره شده در بیرون و یا داخل خاک در چرخه‌ی سوخت‌وساز (هضم) موجودات خاک قرار گرفته و نهایتاً به‌صورت گازکربنیک به نیوار باز می‌گردند.

---
[1] - Greenhous effect

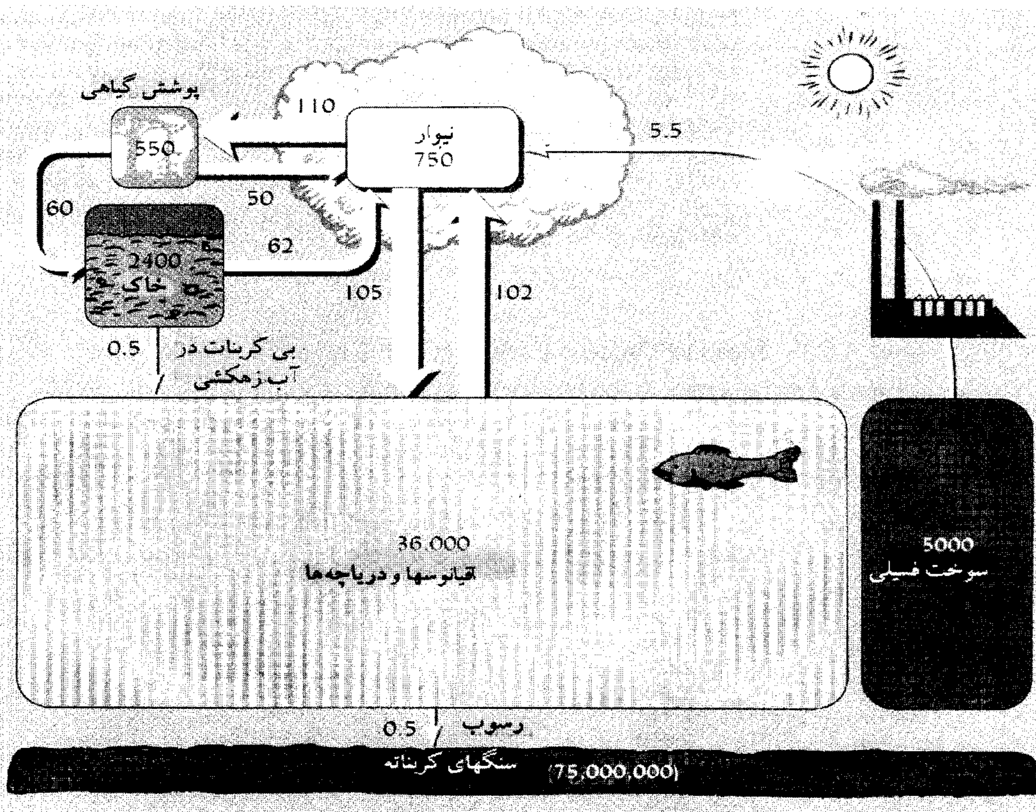
مقادیر بسیار کمتر گازکربنیک در داخل خاک وارد واکنش شده و تولید اسید کربنیک(H_2CO_3) و کربنات‌ها و بی‌کربنات‌های کلسیم، پتاسیم، منیزیم و سایر کاتیون‌های تشکیل‌دهنده‌ی بازمی شود، بی‌کربنات‌ها نسبتاً محلول بوده و می‌توانند براثر زه‌کشی جدا شوند. نهایتاً، بیشتر کربن موجود در کربنات‌ها و بی‌کربنات‌ها نیز به‌صورت گازکربنیک به نیوار باز می‌گردند.

سوخت‌وساز میکروبی، بعضی از ترکیبات آلی چنان پایداری را در خاک ایجاد می‌کند که سال‌ها، و حتی قرن‌ها باید بگذرد تا کربن آنها به‌صورت گازکربنیک وارد نیوار شود. چنین مقاومت در مقابل تجزیه باعث می‌شود که ماده‌ی آلی در خاک تراکم کند.

منابع کربن

منبع اصلی ماده‌ی آلی خاک بافت‌های گیاهی است. تحت شرایط طبیعی، قسمت‌های هوایی و ریشه درختان، بوته، علف‌ها و دیگر گیاهان بومی سالانه مقدار زیادی پس‌ماندهای آلی فراهم می‌آورند. حتی در محصولاتی که برداشت می‌شوند، ۰/۱ تا ۰/۳ نبات در سطح خاک باقی‌مانده و یا با خاک مخلوط می‌شود. غیراز محصولات ریشه‌ای مانند هویج، چغندر قند و دیگر نباتات، تمام ریشه‌ها در داخل خاک باقی می‌ماند.

حیوانات منبع دوم ماده‌ی آلی می‌باشند. آنها با خوردن اندام‌های اصلی نبات تولید فضولات کرده و اجساد خود را هنگام مرگ بر روی خاک باقی می‌گذارند. اشکال خاص از حیات جانوری، به‌خصوص کرم‌های خاکی، موریانه‌ها، مورچه‌ی جعل‌ها[1] مهمی در مخلوط‌کردن و انتقال پس‌مانده‌های گیاهی ایفا می‌کنند.



شکل ۱-۱۲ نمایش ساده‌ی چرخه‌ی جهانی کربن با تاکید بر مخازن کربن که با نیوار در تعامل می‌باشند. شماره‌ها در محفظه‌ها بیانگر Pg (پتاگرم مساوی با 10^{15} گرم) کربن ذخیره‌شده در مخازن است. شماره‌ها با پیکان‌ها بیانگر میزان جریان کربن سالانه (Pg/y) در مسیرهای مختلف بین منابع است. توجه داشته باشید که خاک دارای دو برابر کربن مجموع پوشش گیاهی و نیوار می‌باشد. عدم تعادلی که به‌وسیله‌ی انسان ایجاد می‌شود، می‌تواند در جریان کربن به نیوار از سوزاندن سوخت‌های فسیلی دیده شود.(Pg= ۵/۵) و این حقیقت که کربن بیشتری (۶۲+۰/۵) در مقایسه با کربن ورودی (Pg=۶۰) خاک را ترک می‌کند. این عدم تعادل فقط تاحدی فقط براثر افزایش جذب کربن نیوار به‌وسیله‌ی اقیانوس‌ها مهار می‌شود. نتیجه نهایی ورود ۲۱۹/۵ پتاگرم کربن سالانه به نیوار می‌باشد درحالی‌که فقط ۲۱۵ پتاگرم‌درسال از آن برداشت می‌شود. بنابراین، به آسانی می‌توان فهمید که چرا میزان گازکربنیک در نیوار درحال افزایش است.

---

[1] - Dung beetles

در مقیاس جهانی درهر زمان حدود۲٤۰۰ پتاگرم کربن در خاکرخ به‌صورت ماده‌ی آلی (به‌استثنای لاشبرگ سطحی) ذخیره می‌شود، که حدود یک سوم آن در عمق بیشتر از یک متر قرار گرفته است، ۷۰۰ پتاگرم دیگر به‌صورت کربنات‌ها در خاک ذخیره می‌شود که با هوادیدگی، CO_2 را آزاد می‌کنند به‌طورکلی، ۲ برابرمجموع کربن ذخیره شده در پوشش نباتی و نیوار جهانی در خاک ذخیره شده است (شکل ۱-۱۲). البته این کربن به‌طور یکنواخت در تمام خاک‌ها توزیع نیافته است (جدول ۱-۱۲). حدود ٤٥ درصد کربن موجود در خاک تنها در سه راسته‌ی هیستوسول[1] اینسپتی‌سول[2] و جلی‌سول‌ها[3] قرار دارند، راسته‌ی هیستوسول‌ها (و زیرراسته‌ی هیستل[4] در راسته‌ی جلی‌سول) دارای گسترش کمی بوده اما دارای مقادیر خیلی زیادی ماده‌ی آلی در واحد سطح اراضی می‌باشند. اینسپتی‌سول‌ها (و جلی‌سول‌های غیرهیستیک) دارای مقادیر متوسط کربن می‌باشند اما مناطق وسیعی از کره‌ی زمین را پوشش می‌دهند.دلیل متغیربودن مقدار کربن آلی در خاک‌های مختلف در بخش ۱۰-۱۲ در جزییات مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

در یک زیست‌بوم طبیعی بالغ، و یا زیست‌بوم کشاورزی پایدار، آزاد شدن کربن به‌صورت گازکربنیک براثر اکسایش ماده‌ی آلی خاک (عمدتاً با تنفس میکروبی) با میزان کربن افزوده به خاک به‌صورت پس‌ماندهای گیاهی (و تا حد کمتر پس‌مانده‌های حیوانی) به تعادل میرسند. هرچند همان‌طورکه در بخش ۱۰-۱۲ بحث می‌شود، دخل و تصرف در نظام و به‌هم‌زدن آن مانند آتش‌زدن، جنگل‌تراشی، زه‌کشی خاک و عملیات خاک‌ورزی، سبب کاهش خالص کربن در نظام خاک می‌گردد.

شکل ۱-۱۲ نشان می‌دهد که به‌طور جهانی آزادشدن کربن از خاک‌ها به‌داخل نیوار ٦۲ پتاگرم در سال است، درحالی‌که فقط ٦۰ پتاگرم در سال از نیوار به‌وسیله‌ی پس‌ماندهای گیاهی داخل خاک می‌شود. این عدم تعادل حدود ۲ پتاگرم در سال، همراه با ٥/٥ پتاگرم حاصل از کربن آزادشده به‌وسیله‌ی سوزاندن سوخت‌های فسیلی (کربن مصادره شده از نیوار در میلیون‌ها سال قبل) فقط تا حدی براثر افزایش جذب گاز کربنیک نیوار به‌وسیله‌ی آب دریاها جبران می‌گردد.

جدول ۱-۱۲ جرم کربن آلی درخاک‌های جهان. مقادیر یک متر فوقانی بیانگر بخش اکثر کربن موجود در خاکرخ است. ۱٥ سانتی‌متر فوقانی معمولاً معرف سطح خاک است که به آسانی تحت تأثیر طرز استفاده از اراضی و مدیریت خاک قرار می‌گیرد.

راسته‌ی خاک	مساحت جهانی	** کربن آلی در ۱۰۰ سانتی‌متر فوقانی خاک				
	۱۰۰۰کیلومترمربع	مگاگرم درهکتار	جهانی پتاگرم	درصدجهانی	دامنه تغییرات درصد وزنی	درصد وزنی شاخص
آنتی‌سول	۱٤۹۲۱	۹۹	۱٤۸	۹	۰/۰٦-٦	بسیار متغیر
*اینسپتی‌سول	۲۱٥۸۰	۱٦۳	۳٥۲	۲۲	۰/۰٦-٦	بسیار متغیر
*هیستوسول	۱۷٤٥	۲۰٤٥	۳٥۷	۲۳	۱۲-٥۷	٤۷
اندی‌سول	۲٥٥۲	۳۰٦	۷۸	٥	۱/۲-۱۰	٦
ورتی‌سول	۳۲۸۷	٥۸	۱۹	۱	۰/٥-۱/۸	۰/۹
اریدی‌سول	۳۱۷٤۳	۳٥	۱۱۰	۷	۰/٥-۱	۰/٦
مولی‌سول	٥٤۸۰	۱۳۱	۷۳	٥	۰/۹-٤	۲/٤
اسپدوسول	٤۸۸۷	۱٤٦	۷۱	٥	۱/٥-٥	۲
الفی‌سول	۱۸۲۸۳	٦۹	۱۷۲	۸	۰/٥-۳/۸	۱/٤
التی‌سول	۱۱۳۳۰	۹۳	۱۰٥	۷	۰/۹-۳/۳	۱/٤
اکسی‌سول	۱۱۷۷۲	۱۰۱	۱۱۹	۸	۰/۹-۳	۲
اراضی متفرقه	۷٦٤٤	۲٤	۱۸	۱	-	-
کل	۱۳٥۲۱٥	--	۱٥۷٦	۱۰۰	--	-

* کربن ذخیره شده در Gelisoils در این خاکها آمده است.

** ماده‌ی آلی را می‌توان به‌طور تقریبی با ضرب ۱/۷۲ در این اعداد به‌دست آورد. نیتروژن آلی را نیز از ارقام کربن آلی یا تقسیم آن‌ها به ۱۲ می‌توان به‌دست‌آورده برای راسته‌های اریدی‌سول این ضریب مقداری کمتر و حدود ۱۰ می‌باشد. برای راسته‌ی هیستوسول و سایر خاک‌های مناطق مرطوب باتلاقی این ضریب مقداری بالاتر و حدود ۲۰ می‌باشد.

[1] - Histosols
[2] - Inceptisols
[3] - Gellisols
[4] - Histols

سوزاندن سوخت‌های فسیلی و انواع کاربری‌های تخریب‌کننده اراضی سبب تمرکز گازکربنیک بـا نـرخ تشـدیدی از ابتـدای انقـلاب صنعتی، یعنی از ٤٠٠ سال قبل گردیده است. درنتیجه غلظت گاز کربنیک در نیوار با سرعت زیاد درحال افزایش است، به‌طوری‌کـه از ۲۹۰ قسمت در میلیون در قرن گذشته به ۳۷۰ میلیون در قسمت در حال حاضر رسیده است. نقش عدم تعادل گازکربنیک و انتشار سایر گازها در اثرات گلخانه‌ای به دنبال بررسی فرایندهای موجود در چرخهٔ کربن در بخش ۱۱-۱۲ تشریح خواهد شد.

۲-۱۲ فرایند تجزیه در داخل خاک‌ها

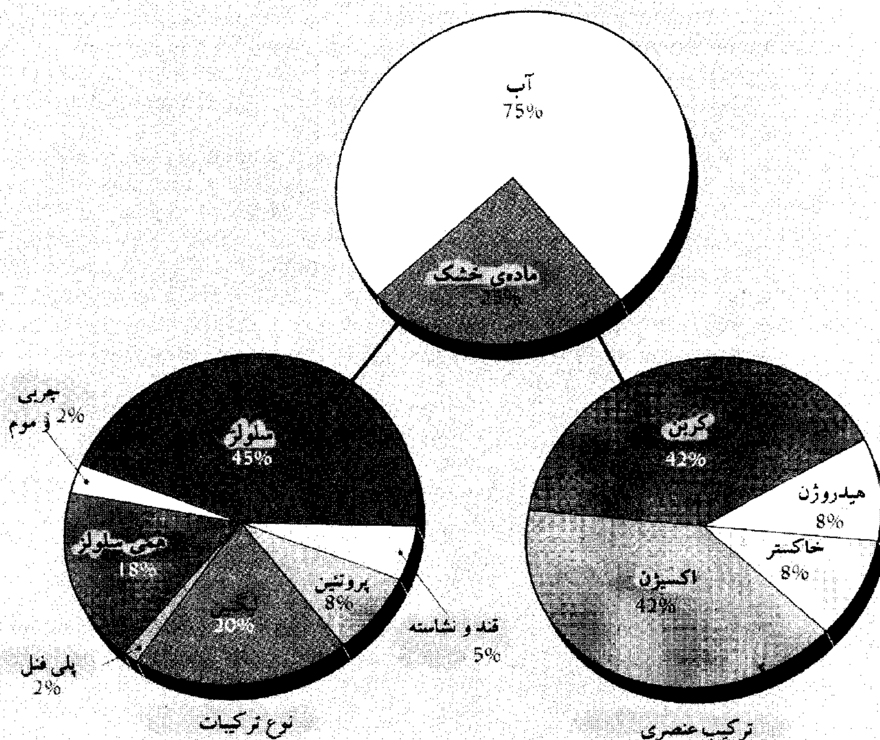
ازآن‌جاکه پس‌ماندهای گیاهی مواد اصلی می‌باشند که در خاک مورد تجزیه قرار می‌گیرند و ازآن‌جاکه منبع اولیـه مـادهٔ آلـی خـاک پس‌ماندهای گیاهی است، ترکیب بافت‌های گیاهی را مورد ملاحظه قرار خواهیم داد.

ترکیب پس‌ماندهای گیاهی

بافت‌های سبز گیاهی عمدتاً از آب تشکیل شده‌اند به‌طوری‌که میزان رطوبت آنها از ٦٠ تا ۹۰ درصد متغیر و رقم شـاخص ۷۵ درصـد می‌باشد (شکل ۲-۱۲). اگر اندام‌های گیاهی خشک گردند به‌طوری‌که تمام رطوبت آنها خارج شود، تجزیه مادهٔ خشـک باقیمانـده نشـان میدهد که بیشتر از ۹۰ تا ۹۵ درصد براساس وزنی ازکربن، اکسیژن و هیدروژن تشکیل شده است.

طی فرایند سوخت‌وساز نوری این عناصر از آب و گازکربنیک استحصال شده‌اند. اگر مادهٔ خشک سوزانده شود (اکسیده شـود) ایـن عناصر بار دیگر به آب و گازکربنیک تبدیل می‌شوند البته با سوختن پس‌ماندهای گیاهی خشک مقداری خاکستر(و دود) تشکیل گردیده کـه باقیماندهٔ ۵ تا ۱۰ درصد مادهٔ خشک را شامل خواهد شد.

در خاکستر(و دود) بسیاری از عناصر که قبلاً به‌وسیلهٔ گیاه از خاک برداشت شده است وجود دارد. این مواد گرچه در مقـادیر نسـبتاً اندکی در نبات وجود دارند، اما نقشی حیاتی را در تغذیهٔ نبات و برآورد نیازهای ریزجانداران خاک، ایفا مـی‌کننـد. عناصـر اساسـی در خاکستر مانند نیتروژن، گوگرد، فسفر، پتاسیم و عناصر کم‌مصرف در جزییات بیشتر در فصول بعد موردبحث قرار خواهند گرفت.



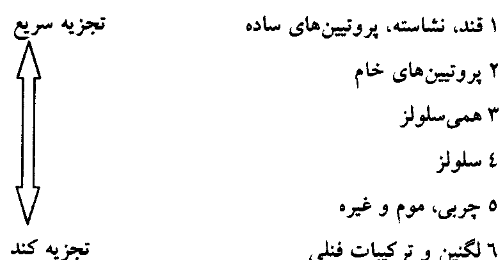
شکل ۲-۱۲ ترکیب شاخص مواد گیاهان سبز. تقسیم‌بندی دوایر ترکیبات شاخص را مشخص می‌سازد. انواع ترکیبات عمده مـادهٔ آلـی درسـمت چـپ مشخص شده است و ترکیب عنصری درسمت راست قرارگرفته است، خاکستر شامل عناصری به‌غیراز کربن- اکسیژن و هیدروژن (ازت، گوگرد، کلسـیم و غیره) می‌باشد.

ترکیبات آلی در پس‌ماندهای گیاهی: ترکیبات آلی در بافت‌های گیاهی می‌توانند در دسته‌های وسیع همان‌طورکه در شکل ۲-۱۲ نشان داده شده است گروه‌بندی شوند. اگرچه درصدهای شاخص این کلاس‌ها در شکل ۲-۱۲ نشان داده شده است، بافت‌های گیاهی گونه‌های مختلف و همین‌طور قسمت‌های مختلف آن‌ها (برگ، ریشه و ساقه) در یک نبات مشخص از نظر ترکیب متفاوتست. کربوهیدرات‌ها از نظر پیچیدگی ساختمانی از شکر ساده و نشاسته تا سلولز متغیر می‌باشند و بخش اعظم ترکیبات ماده‌ی آلی را شامل می‌باشند.

لگنین‌ها که ترکیبات پیچیده‌ای با ساختمان حلقوی شکل فنلی دارند از اجزاء دیواره‌ی یاخته می‌باشند، میزان لگنین با بلوغ نبات و به‌خصوص در بافت‌های چوبی، افزایش می‌یابد. سایر پلی‌فنل‌ها مانند تانن، ممکن‌است ٦ تا ۷ درصد در برگ‌ها و پوست درختان خاص (برای نمونه، رنگ قهوه‌ای چای دم‌کشیده) وجود داشته باشد. لگنین و پلی‌فنل‌ها از نظر مقاومت به تجزیه مشهورند. بخش‌های خاصی از نباتات به‌خصوص بذر و برگ دارای مقادیر زیادی چربی، موم و روغن می‌باشند که از کربوهیدرات‌ها پیچیده‌تر بوده اما به‌پیچیدگی لگنین‌ها نمی‌رسند.

پروتیین حدوداً دارای ١٦ درصد نیتروژن و مقادیر کمتری از سایر عناصر اساسی مانند گوگرد، منگنز، مس و آهن می‌باشند. پروتیین‌های ساده به آسانی تجزیه و نیتروژن خود را رها می‌سازند، درحالی‌که پروتیین‌های پیچیده خام[1] به تجزیه مقاوم‌تر می‌باشند.

نرخ تجزیه: ممکن است ترکیبات آلی از نظر سهولت تجزیه به‌صورت زیر مشخص شوند:



تجزیه ترکیبات آلی در خاک‌های دارای تهویه خوب

وقتی اندام‌های گیاهی به خاک دارای تهویه‌ی خوب اضافه شوند سه نوع واکنش عمومی صورت خواهد گرفت:

۱- ترکیبات کربن به‌صورت آنزیمی اکسایش یافته، و گاز کربنیک، آب، انرژی و زیتوده تجزیه‌کننده تولید می‌شوند.

۲- عناصر ضروری مانند نیتروژن، فسفر و گوگرد آزادشده، و/ یا به‌وسیله‌ی مجموعه‌ای از واکنش‌های خاص که برای هر عنصر اختصاصی است از تحرک باز خواهند ماند.

۳- ترکیبات خیلی مقاوم در مقابل باکتری‌ها یا از طریق تغییر ترکیبات در اندام‌های اصلی گیاهی و یا بازسازی میکروبی تشکیل می‌شوند.

تجزیه: یک فرایند اکسایش. در یک خاک دارای تهویه‌ی خوب تمام ترکیبات آلی موجود در پس‌ماندهای گیاهی موجود در معرض اکسایش قرار می‌گیرند. ازآن‌جاکه بخش آلی پس‌ماندهای گیاهی عمدتاً از کربن و هیدروژن تشکیل شده است، اکسایش ترکیبات آلی در خاک می‌تواند به‌صورت زیر ارائه شود:



$$R-(C,4H)+2O_2 \longrightarrow CO_2\uparrow + 2H_2O + (478\ kjmol^{-1}C)\ \text{انرژی}$$

ترکیبات حاوی کربن و هیدروژن

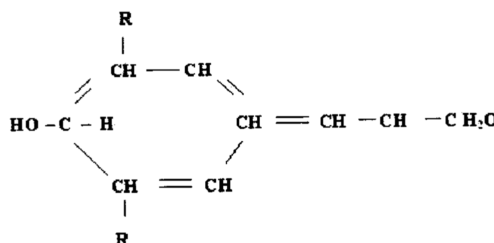
مراحل میانی در این واکنش عمومی وجودداشته وبا واکنش‌های جانبی مهم همراه بوده که عناصر دیگری غیراز کربن و هیدروژن را شامل می‌باشند. بااین‌وصف این واکنش اساسی تجزیه‌ی اکثر ماده‌ی آلی در خاک و همین‌طور مصرف اکسیژن و آزادشدن گازکربنیک را به‌عهده دارد.

تجزیه‌ی پروتیین‌ها: پروتیین گیاهی نیز درمعرض تجزیه‌ی میکروبی قرار گرفته و نه‌تنها منجر به تولید گازکربنیک و آب می‌شود، بلکه سبب ایجاد اسیدآمینه‌ها مانند گلیسین(CH_2NH_2COOH) و سیستین($CH_2HSCHNH_2COOH$) نیز می‌گردد این ترکیبات نیتروژنی و گوگردی به‌نوبه‌ی‌خود بیشتر تجزیه شده و نهایتاً سبب ایجاد یون‌های‌معدنی ساده مانند آمونیوم(NH_4^+) نیترات(NO_3) و سولفات(SO_4^{-2}) خواهدشد.

تجزیه‌ی لگنین: مولکول‌های لگنین بسیار بزرگ و پیچیده بوده و شامل صدها حلقه‌های درهم فرورفته فنلی می‌باشد که اکثر آنها دارای ساختمان مشابه فنل‌پروپین همراه با گروه‌های متوکسیل چسبیده به آن ($-OCH_3$) می‌باشند که درشکل زیر به‌صورت R ویا R´ نشان‌داده‌شده‌است.

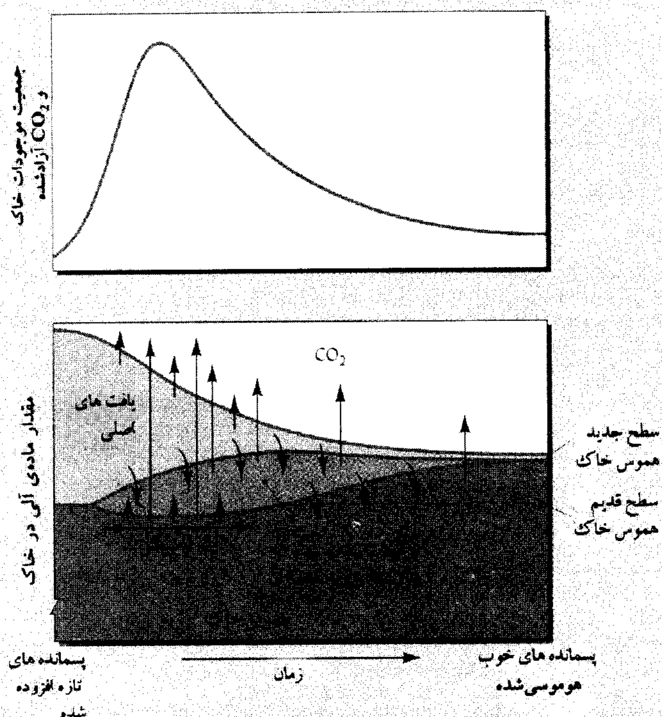
[1] - Complex crude proteins

از آن‌جاکه ارتباط بین این ساختمان‌ها بسیار متعدد و قوی است، فقط ریزجاندارن معدودی (عمدتاً قارچ‌های پوسیدگی سفید) می‌توانند آنها را تجزیه کنند. تجزیه در ابتدا با کندی پیش رفته و معمولاً با مساعدت فعالیت‌های فیزیکی جامعه‌ی جانوری خاک همراه است، وقتی واحدهای فرعی لگنین جدا گردید، بسیاری از ریزجانداران در تجزیه‌ی آنها شرکت می‌کنند، چنین تصور می‌شود که ریزجانداران بعضی از ساختارهای حلقه‌ی لگنین را در بازساخت مواد آلی پایدار خاک مورد استفاده قرار می‌دهند.



مثالی از تجزیه‌ی ماده‌ی آلی

فرایند تجزیه آلی طی زمان در شکل ۳-۱۲ تشریح شده است. فرض کنید که خاک دست‌نخورده باقی مانده و پس‌مانده‌های گیاهی برای مدت زیادی در آن مصرف نشده باشد. ابتدا مواد قابل‌تجزیه آسان وجود ندارد. ریزجانداران اصلی، که به‌طور فعال دارای سوخت‌وساز می‌باشند. جمعیت کوچک موجودات بومی[1] بوده که می‌توانند با هضم آرام و مداوم مواد آلی هموسی‌شده بسیار مقاوم خاک به بقای خود ادامه دهند. رقابت برای غذا شدید بوده و فعالیت میکروب‌ها (که در تنفس بازتاب یافته) نسبتاً پایین است، میزان کربن آلی خاک با آهستگی ولی با مداومت درحال از بین رفتن می‌باشد.



شکل ۳-۱۲ تشریح تصویری تغییرات کلی که در هنگام اضافه‌کردن پس‌ماندهای گیاهی تازه به خاک صورت می‌گیرد پیکان‌ها بیانگر انتقال کربن در بین منابع می‌باشند. زمان لازم برای فرایند در ارتباط با طبیعت ماده‌ی آلی و خاک می‌باشد بیشتر کربن آزادشده طی تجزیه سریع اولیه پس‌ماندهای گیاهی به گازکربنیک تبدیل می‌شوند اما از مقادیر کوچک‌تر کربن که به ترکیبات بازسازی شده میکروبی و نهایتاً هموس خاک تبدیل می‌شود نباید چشم‌پوشی کرد. توجه داشته باشید که میزان هموس در آخر فرایند افزایش می‌یابد اما در اوج فعالیت میکروبی برخی از هموس‌های اصلی به‌وسیله‌ی پدیده‌ای که به آن اثرات اولیه (اصلی) گفته می‌شود از دست می‌رود. وقتی پوشش گیاهی، شرایط محیط و مدیریت برای مدت طولانی ثابت باقی بماند هموس خاک به سطح تعادل می‌رسد که در آن کربن اضافه‌شده به منبع هموس به‌وسیله‌ی تجزیه پس‌ماندهای گیاهی سالانه با هدررفت کربن از طریق تجزیه هموس موجود متعادل خواهد بود.

سپس، به‌طور ناگهانی مقدار زیادی بافت‌های تازه قابل‌تجزیه به خاک افزوده می‌شود، ممکن است درختان در پاییز برگ خود را خزان کنند و یا زارع بقای محصول برداشت‌شده خود را به خاک بازگرداند. درهرحال نمودارشدن ترکیبات قابل‌تجزیه سریع مانند شکر، نشاسته و سلولز سبب تحریک فعالیت سوخت‌وساز فراوان در میکروب‌ها خواهد شد. به‌زودی جای جمعیت‌های بومی و فعالیت کند را جمعیت درحال افزایش شدید مانند فرصت‌طلب‌ها[2] که درحال رکود(خواب) بوده‌اند، خواهد گرفت. موجودات هضم‌کننده‌ی سلولز به‌سرعت

---

[1] - Autochtononous organisms
[2] - zymogenous

درتجزیه شرکت می‌کنند. تعداد میکروب‌ها و متصاعدشدن گازکربنیک از تنفس میکروبی، هردو به صورت تابع نمایی در ارتباط با منابع جدید غذا افزایش خواهند یافت.

به‌زودی فعالیت میکروبی به اوج خواهد رسید و در آن نقطه، انرژی به سرعت آزاد و گازکربنیک به مقدار زیادی تولید خواهد شد. ترکیبات جدید آلی به‌همین ترتیب به‌وسیله‌ی میکروب‌ها مجدداً بازسازی خواهند شد. ممکن‌است زیتوده میکروبی در این نقطه به ۶/۱ ماده‌ی آلی خاک برسد. اوج فعالیت میکروبی حتی سبب تحریک تجزیه‌ی ماده‌ی‌آلی اولیه مقاوم پدیده‌ای که اثرات تحریکی[1] گفته می‌شود، خواهدشد.

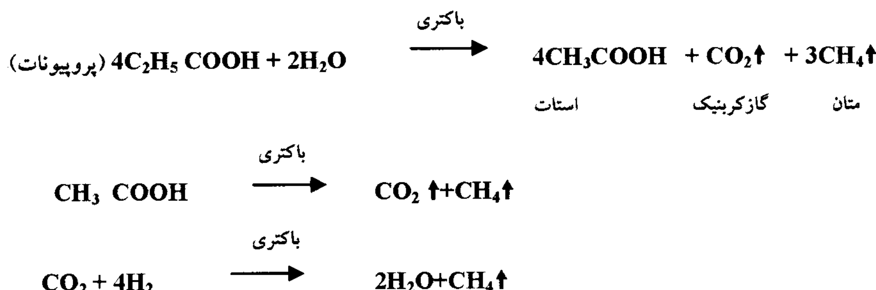
طی فعالیت‌های مختلف، مواد غذایی دارای سهولت تجزیه به‌زودی به پایان می‌رسند، درحالی‌که تجزیه‌کنندگان سلولز و لگنین به تجزیه کند خود ادامه می‌دهند. اکثر ریزجانداران فرصت‌طلب دچار گرسنگی و یا نابودی می‌شوند وقتی جمعیت میکروبی افول می‌یابد یاخته‌های زنده یاخته‌های مرده را بلعیده و گازکربنیک و آب متصاعد می‌سازند. تجزیه یاخته‌های مرده‌ی میکروبی با معدنی‌شدن یا آزادگشتن تولیدات ساده معدنی مانند نیترات و سولفات همراه است.

وقتی میزان عرضه‌ی مواد غذایی بیشتر کاهش یابد، فعالیت میکروبی به کاهش ادامه داده و باکتری‌های فرصت‌طلب دارای وظایف عمومی در سکون باقی خواهند ماند. مقدار بسیار کمی از پس‌ماندهای گیاهی اولیه به‌خصوص ذرات کوچک در داخل منافذ خاک چنان محکم جایگزین شده‌اند که دسترسی ریزجانداران به آن‌ها مشکل بوده و به‌طور فیزیکی از تجزیه محافظت می‌شوند. بعضی از کربن‌های باقیمانده با تبدیل‌شدن به هموس به‌طور شیمیایی حفاظت می‌شوند. هموس جسم سیاه‌رنگ، غیرهمسان، عمدتاً مخلوط کلوییدی مرکب از لگنین و ترکیبات جدید آلی بازسازی شده می‌باشد که به‌شدت در مقابل تجزیه‌ی بیشتر مقاومت می‌کند. بعضی از هموس‌های ریز با ایجاد پیوند با ذرات رس بیشتر محافظت می‌شوند. بنابراین، درصد اندکی از کربن موجود در بقایای اضافه شده باقی خواهد ماند، که به مقدار کمی منبع ماده‌ی آلی پایدار خاک را افزایش میدهد.

تجزیه در خاک‌های غیرهوازی

تجزیه میکروبی در صورت وجود مقادیر کافی گاز اکسیژن به‌سرعت به پیش می‌رود، اکسیژن به‌عنوان دریافت‌کننده‌ی الکترون در طول تجزیه هوازی ترکیبات آلی عمل می‌کند. وقتی منافذ خاک مملو از آب گردند، از انتشار گاز اکسیژن نیوار به‌داخل خاک ممانعت شده و میزان تأمین اکسیژن به آخر می‌رسد. بدون حضور اکسیژن کافی موجودات هوازی نمی‌توانند ایفای نقش کنند. بنابراین موجودات غیرهوازی و یا انتخابی غالب خواهند شد.در شرایط اکسیژن اندک و یا غیرهوازی، تجزیه بسیار کندتر از موقعی است که اکسیژن فراوان است؛ بنابراین، در خاک‌ها دارای شرایط غیرهوازی تمایل بر این است که مقادیر کافی ماده‌ی آلی ناقص تجزیه نشده در خاک تمرکز یابد.

حاصل تجزیه غیرهوازی ترکیبات آلی ناقص اکسیده‌شده‌ی بسیار متنوع مانند اسیدهای آلی، الکل‌ها و گاز متان می‌باشد، تجزیه غیرهوازی انرژی نسبتا کمتری برای موجودات مربوطه آزاد می‌کند، بنابراین، محصولات نهایی هنوز دارای انرژی زیادی می‌باشند. (به این دلیل الکل و متان می‌توانند به‌صورت سوخت به‌کار روند) بعضی از محصولات تجزیه غیرهوازی به‌خاطر ایجاد بوهای ناخوشایند ویا توقف رشد نبات مورد توجه قرار گرفته‌اند. گاز متان تولید شده در خاک‌های خیس عامل مهمی در اثرات گلخانه‌ای می‌باشد (بخش ۱۲-۱۲). واکنش‌های زیر نمونه واکنش‌هایی است که در خاک‌های خیس به‌وسیله‌ی باکتری‌های تولیدکننده متان[2] انجام می‌شود.



---

1 - Primary Effects
2 - Methanogenic bacteria

تولید محصولات ساده غیرآلی (معدنی)

هنگامی که پروتیین مورد حملهی میکروبها قرار میگیرد، زنجیرهای طولانی اسید آمینهها شکسته شده و اسید آمینههای مشخص در محلول خاک همراه با گازکربنیک حلشده ظاهر میشوند. گروههای آمید ($R-NH_2$-) و سولفید ($R-S$-) اسیدهای آمینه اول برای تولید آمونیوم (NH_4^+) و سولفید(S^{2-}) و نهایتاً نیتراتها (NO_3^-) و سولفاتها(SO_4^{2-}) شکسته میشوند. تجزیه مشابهی برای دیگر ترکیبات آلی سبب آزادشدن این عناصر و یونهای غذایی غیرآلی خواهد شد. واژه معدنیشدن به کل فرایندی که سبب آزادشدن عناصری از مادهی آلی برای تولید اشکال غیرآلی (معدنی) گردد اطلاق میشود. بیشتر یونهای غیرآلی آزادشده بهوسیلهی معدنیشدن به آسانی برای گیاهان عالی و ریزجانداران قابلاستفاده است. تجزیهی بافتهای آلی منبع مهمی از نیتروژن، گوگرد، فسفر و دیگر عناصر اساسی برای گیاهان میباشد.

۳-۱۲ عوامل مهارکنندهی میزان تجزیه و معدنیشدن

زمان لازم برای تحقق کامل فرایند تجزیهی مواد آلی و معدنی شدن با توجه به دو مجموعه عوامل گسترده(۱)شرایط محیطی خاک و(۲) کیفیت پسماندهای گیاهی اضافه شده به خاک، از روزها تا سالها متفاوت است.

شرایط محیطی که سبب تجزیه سریع و معدنی شدن میگردند شامل pH نزدیک خنثی، رطوبت کافی، و تهویه خوب خاک(حدود ۶۰درصد منافذ خاک از آب مملو شده باشد)، و دمای مناسب (۲۵ تا ۳۵ درجه سانتیگراد) میباشد. این شرایط در بخش ۱۲-۱۱ در ارتباط با فعالیتهای میکروبی موردبحث قرار گرفت و در بخش ۱۰-۱۲ درمورد اثرات آنها در تجمع مادهی آلی خاک مجدداً مورد ملاحظه قرار خواهند گرفت. در اینجا توجه خود را به عواملی که تعیینکننده کیفیت پسماندهای گیاهی به عنوان منبع غذایی برای ریزجانداران میباشد معطوف میداریم. این عوامل شامل شرایط فیزیکی پسماندهای گیاهی، نسبت C/N، میزان لگنین و پلیفنل آنها میباشد

عوامل فیزیکی مؤثر در کیفیت پسماندهای گیاهی

قرارگرفتن پسماندها در داخل و یا برروی خاک یک عامل فیزیکی مهم بوده که دارای اثرات شدیدی بر نرخ تجزیهی پسماندهای گیاهی میباشد، جایگذاری سطحی پسماندهای گیاهی همانند لاشبرگ جنگلی ویا خاکپوش در خاکورزی حفاظتی معمولاً با نرخ کمتر و بسیارمتغیر تجزیه درمقایسه با مخلوطکردن پسماندهای گیاهی مشابه درداخل خاک همراه میباشد. پسماندهای مدفونشده درتماس نزدیک با ریزجانداران خاک بوده و بهطور یکنواخت مرطوب میباشد، پسماندهای سطحی ازطرفدیگر بهطور فیزیکی خارج از دسترس ریزجانداران خاک، بهجز ریسه قارچها و ریزجانداران درشتتر خاک، مانند کرمهای خاکی میباشند، بقایای سطحی در معرض خشکشدن و دماهای شدیدند. عناصر غذایی معدنیشده حاصل از پسماندهای گیاهی سطحی به فرسایش بسیارحساستر از پسماندهای مدفونشده در خاک میباشند.

اندازهی پسماندهای گیاهی عامل مهم فیزیکی دیگر میباشد. هرچه ذرات کوچکتر باشند، تجزیه سریعتر است. ممکن است اندازه ذرات ناشی از سرشت پسماندها (سرشاخهها درمقایسه با شاخهها)، عملآوردن مکانیکی (آسیابکردن، قطعهقطعهکردن و شخموشیار) و یا جویدن جامعهی جانوری خاک باشد. ریزنمودن پسماندها در ذرات کوچک از نظر فیزیکی سبب آشکارشدن سطح زیادتری برای تجزیه شده، و همچنین باعث پارهگی دیوارهای یاختهای لگنینی و پوشش مومی برگها، و آشکارشدن بافتهای دارای سهولت تجزیه و محتویات یاختهها گردد.

نسبت کربن به نیتروژن مواد آلی و خاکها

میزان کربن موجود در مادهی خشک گیاهان عالی شاخص در حدود ٤۲ درصد است،(شکل ۲-۱۲ را مشاهده کنید)؛ میزان کربن مادهی آلی خاک معمولاًدر فاصله ٤۰ تا ۵۸ درصد* میباشد. برعکس میزان نیتروژن پسماندهای گیاهی بسیار پایین بوده و بسیار متغیر میباشد (از کمتر از یکدرصد تا بیشتر از ٦درصد). نسبت کربن به نیتروژن در C/N در پسماندهای آلی مورداستفاده در خاکها بهدودلیل دارای اهمیت میباشد: (۱)رقابت شدید بین ریزجاندارن برای مصرف نیتروژن قابلاستفادهی خاک وقتی پسماندهای گیاهی افزوده به خاک دارای C/N بالا باشد و (۲)نسبت C/N در پسماندهای گیاهی شدت تجزیه آنها و میزان نیتروژنی را که برای نبات قابلاستفاده میگردد، مشخص میسازد.

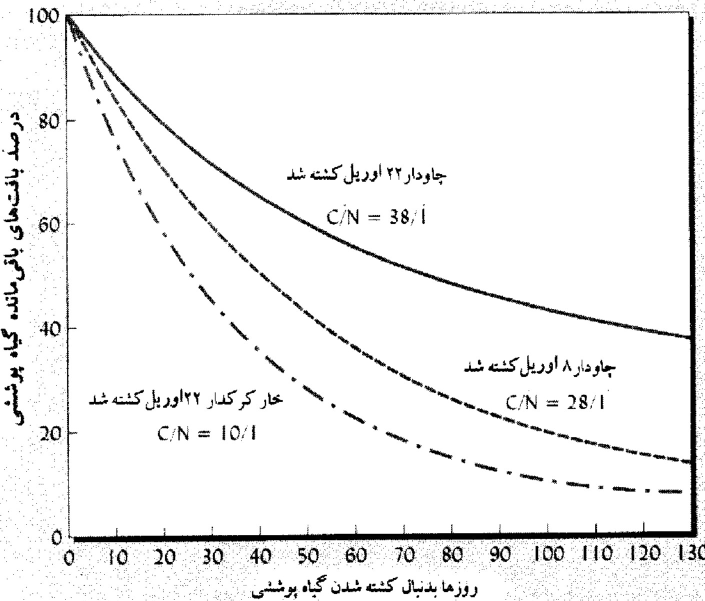
نسبت C/N در نباتات و موجودات ذرهبینی: نسبت C/N در پسماندهای گیاهی از ۱۰:۱ تا ۳۰:۱ در گیاهان نیامدار و برگهای جوان تا نسبت ۶۰۰:۱ در بعضی از خاک ارهها متغیر است (جدول ۲-۱۲). معمولاً با رسیدن نباتات، نسبت پروتیین در اندامها کاهش یافته،

---

* - رقم مرسوم در تبدیل مقادیر مادهی آلی خاک ۰/۵۸ در مادهی آلی است، گرچه این رقم در هموس بسیار پایدار بهخصوص در خاک زیرین صادق است. برای اکثر موارد رقم ۵۰ درصد دقیقتر است.

درحالی‌که نسبت لگنین و سلولز و بنابراین نسبت C/N افزایش می‌یابد. همان‌طورکه در منحنی‌های تجزیه درشکل ٤-١٢ آشکار است، این اختلافات در ترکیب عناصر دارای برجسته‌ای بر نرخ تجزیه هنگام اضافه‌کردن پس‌ماندها به خاک دارند.

در بدن و یاخته‌ی ریزجانداران نسبت C/N نه‌تنها از بافت‌های گیاهی کمتر متغیر بوده بلکه بسیار پایین‌تر نیز می‌باشد، و معمولاً در فاصله ٥/١ تا ١٠/١ قرار می‌گیرد. در بین ریزجانداران، باکتری‌ها معمولا از نظر پروتیین تا حدی غنی‌تر از قارچ‌ها بوده و بنابراین دارای نسبت C/N کمتری می‌باشند.



شکل ٤-١٢ نرخ تجزیه‌ی پس‌ماندهای گیاهان پوششی مختلف. گیاهان پوششی مختلف در طول زمستان و اول بهار کشت گردیده سپس با یک علف‌کش نابود گردیدند و پس‌ماندها به‌صورت خاک‌پوش در سطح خاک باقی ماندند. ذرت دراین خاک‌پوش بدون انجام عملیات خاک‌ورزی قبلی کشت گردید. هرچه نسبت C/N پس‌ماندها پایین‌تر بود فرایند تجزیه آنها سریع‌تر صورت گرفت. توجه داشته باشیدکه گیاهان نیام‌دار(خلر کرک‌دار) C/N بسیار کمتری از گیاهان چمنی(انواع چاودار) دارند. همچنین توجه داشته باشید که دو هفته تأخیر در کشتن نبات چاودار سبب رسیدن بیشتر گیاه و نسبت C/N بالاتر و میزان تجزیه‌ی آهسته‌تری می‌باشد.

نسبت C/N در خاک‌ها: نسبت C/N در ماده‌ی آلی افق سطحی خاک‌های تحت کشت‌وکار(**Ap**) معمولاً از ۸/۱ تا ۱۵/۱ متغیر است، رقم متوسط نزدیک ١٢:١ می‌باشد این نسبت درخاک‌های تحت‌الارض خاکرخ کمتر از خاک‌های سطحی است. در یک اقلیم آب و هوایی مشخص، تغییرات اندکی در نسبت C/N در خاک‌هایی که دارای مدیریت یکسان می‌باشند وجود دارد. برای مثال، در خاک‌های غنی از کلسیم چمن‌زارهای مناطق نیمه‌خشک (مانند مولی‌سول‌ها والفی‌سول‌های گرمسیری) نسبت C/N نسبتاً کوچک است. در خاک‌های شدیداً آبشویی‌شده اسیدی مناطق مرطوب نسبت C/N نسبتاً بالاست. نسبت C/N بالا، تا میزان ٣٠:١ غیرمعمول نیست. وقتی این خاک‌ها به تحت کشت آمده و برای بالارفتن **pH** و میزان کلسیم در آنها آهک مصرف شود، ترکیب حاصل سبب می‌گردد که نسبت C/N به نزدیک ۱۲/۱ برسد(جدول٣- ١٢).

تأثیر نسبت کربن به نیتروژن در تجزیه‌ی مواد آلی

میکروب‌های خاک همانند سایر موجودات نیازمند تعادل عناصر غذایی برای ساخت اندام‌های خود و کسب انرژی می‌باشند قسمت اعظم موجودات زنده خاک کربن را هم برای ساخت ترکیبات اساسی آلی و هم کسب انرژی لازمه فرایندهای حیاتی از سوخت‌وساز مواد کربن دار به دست می‌آورند. هرچند هیچ موجود زنده‌ای نمی‌تواند تنها با استفاده از کربن رشد یافته و تکثیر کند.موجودات همچنین باید نیتروژن کافی برای ساختن ترکیبات یاخته‌ای نیتروژن‌دار مانند اسید آمینه‌ها، آنزیم‌ها و **DNA** به‌دست آورند.

به‌طور متوسط، میکروب‌های خاک برای هر اتم نیتروژن ٨ اتم کربن جهت تبدیل به یاخته‌های خود مصرف کنند (میکروب‌ها دارای نسبت C/N، ٨ می‌باشند) به دلیل این‌که فقط حدود ۱/۳ کربن لازم برای سوخت‌وساز میکروبی و یاخته‌های آنها تبدیل می‌شود (کربن به‌صورت گازکربنیک در بازدم و تنفس هدر می‌رود) میکروب‌ها نیاز دارند که حدود ٢٤ قسمت کربن برای هر قسمت نیتروژن مورد استفاده در ساخت اندام‌های خود مصرف کنند (نسبت کربن به نیتروژن غذای مورد استفاده آنها ۲۴/۱ باشد).

این پیش‌نیاز منجر به دو پیامد عملی فوق‌العاده مهم خواهد شد: (١) اگر نسبت C/N ماده‌ی آلی اضافه‌شده به خاک حدوداً از ۲۵/۱ تجاوز کند، میکروب‌های خاک برای به‌دست‌آوردن نیتروژن کافی محلول خاک را زیرورو خواهند کرد. بنابراین افزودن پس‌ماندهای گیاهی

با نسبت C/N بالا میزان نیتروژن قابل‌عرضه‌ی محلول خاک را تخلیه کرده و باعث خواهد شد که گیاهان عالی با کمبود نیتروژن مواجه شوند، (۲)تجزیه‌ی مواد آلی درصورت نبود نیتروژن کافی برای حمایت رشد میکروبی در مواد مورد تجزیه و در محلول خاک کاهش خواهد یافت. این مسأله در مثال شکل ۵-۱۲ تشریح شده است.

جدول ۲-۱۲ میزان کربن و نیتروژن شاخص موجود و نسبت C/N در بعضی مواد آلی که به‌طور معمول در خاک وجود دارند.

ماده اصلی	درصدکربن	درصدازت	C/N	ماده اصلی	درصدکربن	درصدازت	C/N
خاک اره کاج نوئل	۵۰	۰/۵۰	۶۰۰	خلر پوشش زمستانه	۴۰	۳/۵	۱۱
خاک اره سخت‌چوبان	۴۶	۰/۱	۴۰۰	لجن فاضلاب شهری هضم‌شده	۳۱	۴/۵	۷
کاه وکلش گندم	۳۸	۰/۵	۸۰	موجودات خاک			
لجن کارخانه کاغذسازی	۵۴	۰/۹	۶۱				
کلش ذرت	۴۰	۰/۷	۵۷	باکتری‌ها	۵۰	۱۰	۵
قطعات نیشکر	۴۰	۰/۸	۵۰	اکتینومیست	۵۰	۸/۵	٦
چاودار پوشش زمستانه گلدهی	۴۰	۱/۱	۳۷	قارچ ها	۵۰	۵	۱۰
بلو گراس کود خورده	۴۰	۱/۳	۳۱	مادهٔ آلی خاک			
چاودار پوشش زمستانه مرحله‌ی رویشی	۴۰	۱/۵	۲۶	افق O اسپدوسول	۵۰	۰/۵	۹۰
یونجه خشک‌شده رسیده	۴۰	۱/۸	۲۵	لاشبرگ درختان همیشه‌سبز گرمسیری	۵۰	۲	۲۵
کود دامی پوسیده	۴۱	۱/۲	۲۰	افق Ap مولی‌سول	۵۶	۴/۹	۱۱
کمپوست خانگی کامل	۴۰	۱/۴	۱۶	افقAp اولتی‌سول	۵۲	۲/۳	۲۳
علف جوان یونجه	۴۰	۳	۱۳	افق B متوسط	۴۶	۵/۱	۹

مثال‌های از آزادشدن نیتروژن معدنی در طول تجزیه

اهمیت عملی نسبت C/N وقتی آشکار می‌شود که ما تغییراتی را که با افزودن پس‌ماندهای گیاهی دارای C/N زیاد و یا کم به‌خاک صورت می‌گیرد باهم مقایسه کنیم (شکل ٦-۱۲ مشاهده کنید). خاکی را با میزان نیتروژن محلول (عمدتاً نیترات) متوسط درنظر بگیرید، موجودات تجزیه‌کننده عمومی در این خاک با توجه به میزان اندک گازکربنیک تولیدشده دارای فعالیت پایین می‌باشند، اگر گیاه از نیتروژن استفاده نکند میزان نیترات‌ها با تجزیه‌ی مواد آلی بومی خاک به آهستگی افزایش می‌یابد.

مواد آلی دارای نیتروژن کم: حال با فرض اضافه‌شدن مقدار زیادی ماده‌ی آلی به این خاک چه اتفاقی می‌افتد. اگر این پس‌ماندهای گیاهی دارای نسبت C/N بیشتر از ۲۵ باشد، تغییراتی مطابق شیوه‌ای که در شکل ٦-۱۲ الف نشان داده شده است صورت می‌گیرد. در مثال نشان داده‌شده، نسبت اولیه C/N گیاهی حدود ۵۵، همانند ساقه‌ی ذرت و یا بسیاری از لاشبرگ‌ها می‌باشد، به‌محض این‌که پس‌ماندهای گیاهی با خاک تماس پیدا کنند، جامعه میکروبی به غذای ارائه شده جدید عکس‌العمل نشان می‌دهد (بخش ۲-۱۲ را مشاهده کنید). موجودات ناخودپرور فرصت‌طلب فعال گردیده، به‌سرعت افزایش یافته و سبب ایجاد گازکربنیک به میزان زیاد می‌گردند. به خاطر تقاضای میکروبی برای نیتروژن، نیتروژن معدنی NH_4^+ ویا NO_3^- قابل‌استفاده برای گیاهان آلی در طول این مدت یا وجود نداشته و یا بسیار اندک است.

کاهش نیترات : این شرایط، که اغلب به دوره‌ی کسادی نیترات خاک معروف است، تا مادامی‌که فعالیت موجودات تجزیه‌کننده به دلیل نبود کربن قابل‌اکسایش فروکش نکند ادامه دارد. پس از فروکش‌کردن فعالیت، تعداد میکروب‌ها کاهش یافته، تشکیل گاز کربنیک کمتر شده و نیاز نیتروژن میکروب‌ها کمتر حاد می‌گردد. با پیشرفت تجزیه، میزان C/N پس‌مانده مواد گیاهی به خاطر تمام‌شدن کربن (در عمل تنفس) کاهش می‌یابد و نیتروژن (با واردشدن در یاخته‌های میکروب) ذخیره می‌شود. معمولاً وقتی که نسبت C/N مواد پس‌مانده گیاهی به زیر ۲۰:۱

برسد می‌توان انتظار آزادشدن نیتروژن را داشت، در آن صورت مقدار نیتروژن بالا رفته و شرایط اولیه حاکم خواهد شد با این تفاوت که خاک از نظر نیتروژن و هموس مقداری غنی‌تر خواهد شد.

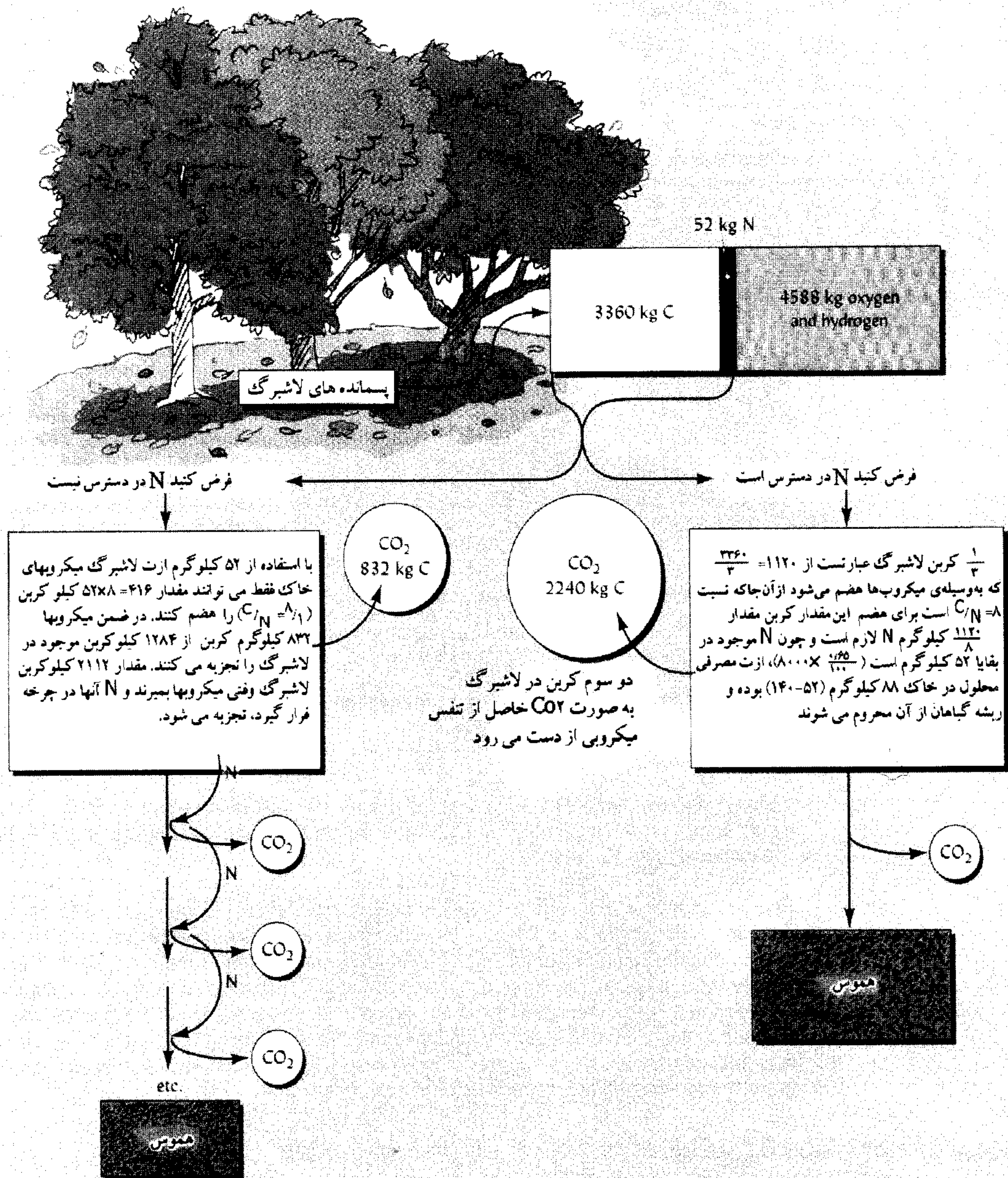
جدول ۳-۱۲ درصد کربن و نیتروژن آلی و نسبت کربن به نیتروژن در خاک سطحی (افق A) و خاک تحت‌الارض (افقB) در التی‌سول‌ها و مولی‌سول‌ها: با این استثنا که التی‌سول‌ها تحت پوشش جنگلی و مولی‌سول‌ها در زیر پوشش چمن‌زار بودند. در تمام موارد خاک تحت‌الارض دارای ماده‌ی آلی کمتری از خاک سطحی و به‌طورکلی دارای نسبت $^{C}/_{N}$ کمتر بود. در خاک‌های سطحی التی‌سول نسبت کربن به نیتروژن معمولاً نزدیک ۲۰:۱ بود مگر خاک شخم‌خورده و یا در آن آهک مصرف شده بود. نسبت کربن به نیتروژن ۱۲:۱ معرف اکثر خاک‌های سطحی غیرجنگلی است.

موقعیت	گروه بزرگ خاص	کربن آلی		نیتروژن		نسبت $^{C}/_{N}$	
		افق A	افق B	افق A	افق B	افق A	افق B
التی‌سول‌ها							
جورجیا	Albaaqults آلباآکولت	٢/٢	٠/٥٤	٠/٠٩٥	٠/٠٦	٢٣	٩
پورتوریکو	Plinthaqults پلینتاآکولت	٣/٢٥	٠/٧٤	٠/٢٥	٠/٠٧	١٣a	١٠
کالیفرنیا	Haplohumults هاپلوهمولت	٦/٦٩	٢/١٦	٠/٢٦	٠/١٠٣	٢٦	٢١
ویرجینیا	Hapludults هاپلوادولت	٣/٤	٠/٧١	٠/١٢٧	٠/٠٥٦	٢٧	١٣
تنسی	Rhodudults ردوادولت	٣/٣٦	٠/٤٤	٠/٢٠٧	٠/٠٥٧	١٦	٨
پورتوریکو	Tropoudults تروپوادولت	٢/٤	٠/٣٨	٠/٢٠٥	٠/٠٤٤	١٢	٩
پورتوریکو	Haploustults هاپلواستولت	١/٦٤	٠/٤٩	٠/١٤٩	٠/٠٥٣	١١	٩
کارولینای شمالی	Umbraquults امبراکولت	٥/٣	٠/٤٢	٠/١٩٩	٠/٠٥١	٢٧	٨
کالیفرنیا	Haploxerults هاپلوزرولت	٤/٢٢	٠/٧٥	٠/١٤	٠/٠٤١	٣٠	١٨
مریلند	Fragiudults فراجی‌ادولت	٣/٥٨	٠/٣٥	٠/١٢٤	٠/٠٤١	٢٩	٩
مولی‌سول‌ها							
کانزانس	Argiustolls ارجی‌استول	١/١٧	٠/٥٤	٠/٥٤	٠/١١٨	١٠a	٨
مونتانا	Argiborolls ارجی‌بورل	٢/٠٦	٠/٧٤	٠/٧٤	٠/١٩٢	١١	١٠
نبراسکا	Argiustolls ارجی‌استول	٢/٥٤	٠/٧٥	/٢٠٢	٠/٠٨١	١٣	٩
کانزاس	Argiustolls ارجی‌استول	٤/٣٥	٢/٣	٠/٣١٨	٠/١٧٨	١٤	١٣
داکوتای شمالی	Natriborlls ناتری‌بورول	٢/٧١	١/٠٩	٠/١٩٩	٠/٠٨٦	١٤a	١٣
ایوا	Haplaaqolls هاپلااکول	٤/٢	٠/٤١	٠/٣٢٥	٠/٠٤٦	١٣a	٩
ایلی‌نوی	Haplaaqolls هاپلااکول	١/٥١	٠/٩٤	٠/١٣٥	٠/٠٨٨	١١a	١١
ایوا	Haplaudolls هاپلااودول	٢/٨٦	٠/٤٩	٠/٢٤٧	٠/٠٥٧	١٢	١٨
یوتا	Calcixerolls کالی‌زرول	٣/٦٩	٢/٠٧	٠/٢٩١	٠/١٧٧	١٣	١٢
ایوا	Argiaquolls ارجی‌اکول	٢/٧٨	٠/٩٢	٠/١٨٨	٠/٠٧٨	١٥a	١٢

a این اطلاعات برای افقهایAp در خاک‌های زراعی است

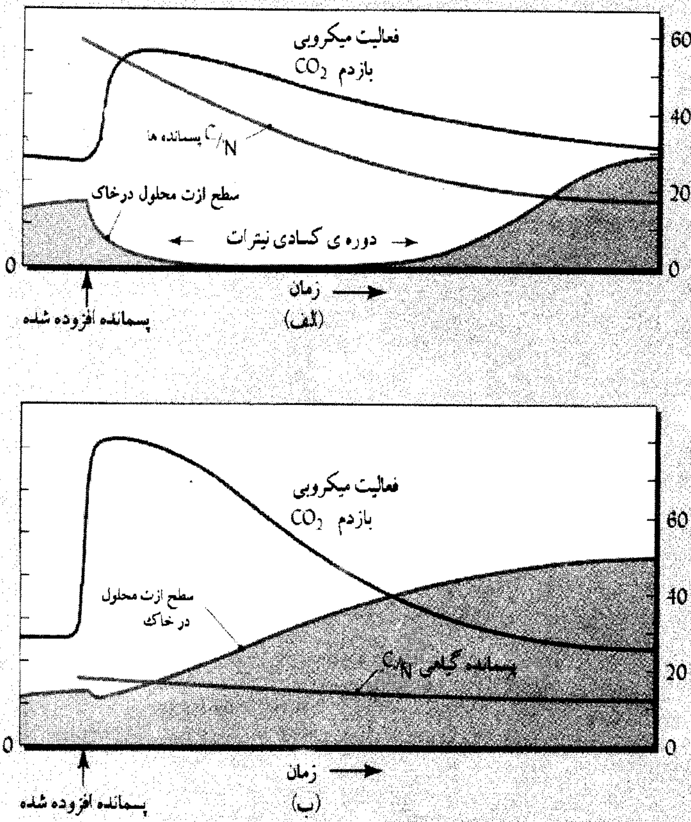
ممکن است دوره‌ی کسادی نیترات برای چند روز، چند هفته ویا حتی چندین ماه تداوم داشته‌باشد. وقتی پس‌ماندهای گیاهی اضافه‌شده دارای نسبت $^{C}/_{N}$ زیادتر، سهولت تجزیه بیشتر، و به‌میزان فراوان‌تری باشند، این دوره کسادی مشخصاً طولانی‌تر و شدیدتر است. برای جلوگیری از تولید گیاهچه‌های دارای رنگ‌پریده لکه‌لکه دارای فقر نیتروژن، کشت باید تا سرآمدن دوره‌ی کسادی نیترات خاک به تأخیر افتد، ویا منابع اضافی نیتروژن (مثلاً کود شیمیایی) برای برآورد نیازهای غذایی هم ریزجانداران و هم گیاهان آلی مورد استفاده قرار گیرد.

پسمانده های لاشبرگ با ۸۰۰۰ کیلوگرم در هکتار وزن خشک و دارای ۴۰ درصد کربن و ۰/۶۳ درصد نیتروژن به خاک افزوده شده است که مقادیر C و N و سایر عناصر را مشخص می سازد نسبت C/N عبارتست از $\frac{۴۲}{۰/۶۵}$=۶۵/۱



شکل ۵-۱۲ یک مثال ساده کمی از تجزیه پس‌ماندهای گیاهی که سرنوشت کربن و نیتروژن وپیامدهای تجزیه و قابلیت استفاده نیتروژن خاک را تشریح می‌کند توجه کنید که اگر عرضه‌ی نیتروژن کافی فراهم باشد توان تشکیل هموس افزایش خواهد یافت.

مواد آلی دارای نیتروژن زیاد : اثر پس‌ماندهای اضافه‌شده دارای نسبت C/N کوچک‌تر از ۲۰:۱ برروی میزان نیترات خاک همان‌طورکه در شکل ۶-۱۲ ب آمده است، بسیار متفاوت خواهد بود. در صورت وجود مواد آلی دارای نسبت C/N پایین، نیتروژن بیش از نیاز برای رفع نیازهای جانوران تجزیه‌کننده وجود خواهد داشت، بنابراین، به‌زودی بعد از این‌که تجزیه آغاز گردد مقداری از نیتروژن ترکیبات آلی به داخل محلول خاک آزاد شد. و میزان نیتروژن محلول قابل‌جذب گیاهی را بالا خواهد برد. معمولاً مواد آلی غنی از نیتروژن با سرعت تمام تجزیه شده، دوره‌ای با رشد و فعالیت شدید میکروبی را به دنبال داشته، اما دوره کساد نیتروژن را دیگر نخواهد داشت.



شکل ٦-١٢ تغییرات در فعالیت میکروبی، میزان نیتروژن محلول، و نسبت C/N به دنبال اضافه‌کردن (الف)مواد آلی با نسبت C/N بالا و یا (ب)C/N پایین، وقتی نسبت C/N اضافه شده پس‌ماندها بالاتراز ۲۵ باشد بایستی میکروب‌هایی که پس‌ماندهای گیاهی را هضم می‌کنند میزان کمبود نیتروژن موجود در کلش را نیتروژن خاک جبران کنند در طول دوره کسادی نیترات، رقابت بین گیاهان عالی و میکروب‌ها چنان شدید خواهد بود که سبب بروز کمبود نیتروژن در گیاه خواهد شد. توجه داشته باشید در هر دو مورد نیتروژن محلول نهایتاً در خاک با انجام تجزیه‌ی گیاهی از میزان اولیه‌ی خود افزایش می‌یابد. شیوه‌ای که نشان داده شده است برای خاک‌هایی است که دارای گیاه درحال رشد نمی‌باشند. درصورت وجود، گیاهان نیتروژن محلول را به محض آزاد شدن جذب می‌کنند.

تأثیر میزان لگنین و پلی‌فنل مواد آلی

میزان لگنین لاشبرگ گیاهان از کمتر از ۲ درصد تا بیشتر از ۵۰ درصد متغیر است، موادی که دارای لگنین زیادند با کندی زیاد تجزیه می‌شوند. ممکن‌است ترکیبات پلی‌فنل موجود در لاشبرگ گیاهی تجزیه را محدود کنند. این ترکیبات فنلی اغلب محلول در آب بوده و ممکن است در غلظت‌هایی به میزان ۵ تا ۱۰ درصد وزن خشک نبات حضور داشته باشند. این ترکیبات فنلی با تشکیل ترکیبات فوق‌العاده مقاوم با پروتیین در هنگام تجزیه‌ی پس‌ماندهای گیاهی، می‌توانند به طرز چشم‌گیری هم نرخ معدنی‌شدن نیتروژن و هم اکسایش کربن را کند کنند.

کیفیت لاشبرگ گیاهی : به دلیل این‌که بقایای دارای فنول و/ یا لگنین زیاد سبب فعالیت اندک میکروبی و تولید زیتوده پایین می‌شوند، آنها به عنوان منابع دارای کیفیت پایین برای جانداران خاک، که کربن و عناصر غذایی را در چرخه قرار می‌دهند به حساب می‌آیند. ممکن است تولید چنین پس‌ماندهای گیاهی دارای سرعت تجزیه پایین در بعضی درختان جنگلی علت تراکم فوق‌العاده زیاد نیتروژن و کربن هموسی شده را در خاک‌های جنگل‌های بالغ سردسیری توضیح دهد(شکل ٧-١٢).

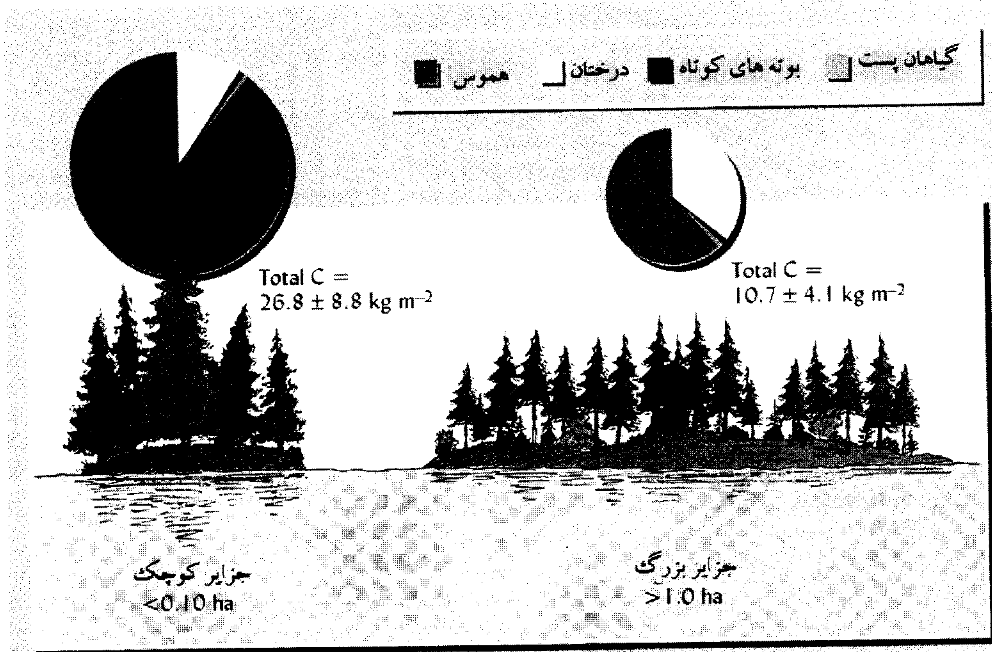
میزان لگنین و فنول در تجزیه و آزاد شدن نیتروژن در کودهای سبز یعنی پس‌ماندهای گیاهی که برای غنی‌ساختن خاک‌های کشاورزی به‌کار می‌روند، مؤثر است (جدول٤-١٢). برای مثال در برگ‌های برخی درختان خاص نیام‌دار، نسبت C/N بسیارکم است اما میزان فنل کاملاً بالاست بنابراین، وقتی این برگ‌ها به خاک اضافه می‌شوند نیتروژن به کندی آزاد می‌شود، اغلب چنان کند که با نیازهای گیاهان زراعی مطابقت ندارد. به‌همین نحو پس‌ماندها با لگنین بیشتر از ۲۰ تا ۲۵ درصد با کندی زیاد تجزیه می‌شوند تا بتواند کودسبز مؤثری برای گیاهان زراعی یک‌ساله سریع‌الرشد باشد. آزاد شدن کند نیتروژن از بقایای کود سبز در درازمدت ممکن است به علت کمتر هدررفتن نیتروژن مزیت باشد. با همین استدلال، تجزیه‌ی کند مواد غنی از فنل یا لگنین به این معنی است که حتی اگر نسبت C/N نیز خیلی زیاد باشد، کاهش نیترات خیلی مشخص نخواهد بود.

شکل ۸ – ۱۲ اثر مرکب C/N و میزان لگنین و یا فنل را در تعادل، عدم تحرک و معدنی‌شدن نیتروژن طی تجزیه پس‌ماندهای گیاهی تشریح می‌کند.

جدول ٤-١٢ کیفیت لاشبرگ گیاهی در ارتباط با میزان لگنین، پلی‌فنل، و نسبت C/N در چند نوع پس‌ماندهای گیاهی:
مواد هرس‌شده (برگ‌ها و سرشاخه‌های کوچک) از سه گونه درختی جنگلی-زراعی معمول و پس‌ماندهای پس از برداشت ۲ محصول غله‌ای با میزان ۵ تن در هکتار در خاک اکسیک پالودولت[1] در یک منطقه مرطوب گرمسیر نیجریه به زمین داده شد. نسبت‌های پایین C/N، لگنین و پلی‌فنل سبب ایجاد لاشبرگ دارای کیفیت خوب و سرعت تجزیه زیاد گردید.
اثر محدودکننده‌ی میزان پلی‌فنل را می‌توان با مقایسه جنس گلرسیدا[2] با لوکانا[3] ملاحظه کرد.

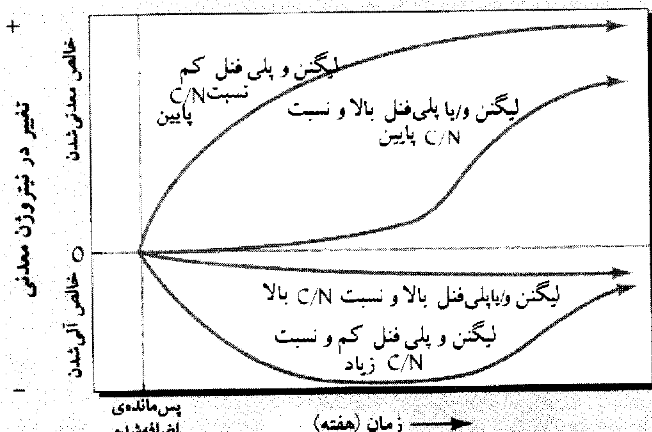
گونه گیاهی	بخش گیاهی	درصد لگنین	درصد پلی‌فنل	C/N	ثابت تجزیه هفته/K * $Y=e^{-Kt}$	کیفیت لاشبرگ
Gliricida sepium	هرس	۱۲	۱/٦	۱۳	۰/۲۵۵	بالا
Leucaena leucocephala	هرس	۱۳	۵	۱۲	۰/۱٦٦	بالا- متوسط
Oryza sativa	کاه	۵	۰/٦	٤۲	۰/۱۲٤	متوسط
Zea mays	ساقه	۷	۰/٦	٤۳	۰/۱۱۸	متوسط
Dactyladenia barteri	هرس	٤۷	٤/۱	۲۸	۰/۰۱۱	کم

* از هر نوع پس‌مانده که در طول هر ١٤ هفته تجزیه می‌شد، دانشمندان به طور متناوب نسبت Y ماده‌ی خشک اولیه باقیمانده را تعیین می‌کردند نرخ تجزیه از رابطه‌ی $Y=e^{-Kt}$ تعیین می‌شود. e پایه لگاریتم طبیعی و t زمان برحسب هفته است. هرچه ثابت تجزیه k بیشترشود تجزیه سریع‌تر است.



شکل۷-۱۲ اثر کیفیت لاشبرگ گیاهی در تراکم هموس درخاک درمطالعه ۵۰ جزیره جنگلی دور از سواحل سوئد. محققین دریافته‌اند که فراوانی آتش‌سوزی‌های جنگلی ناشی از رعدوبرق با افزایش سطح جزیره افزایش یافت، بنابراین، جزایر هرچه کوچک‌تر باشند(چپ) جنگل‌های بالغ سرو که طی قرن‌ها دست‌نخورده باقی مانده بودند غالب می‌باشند، درحالی که اکثر جنگل‌ها در جزایر بزرگ‌تر در مراحل اولیه تجدیدحیات از آتش‌سوزی‌های قبلی قرار داشتند. گونه‌های درختی فرا بالغ غالب در جنگل‌های سردسیری تولید لاشبرگ با لگنین و فنل بالاتری نسبت به گونه‌هایی نمودند که در مراحل اولیه توالی آتش‌سوزی و سایر عوامل برهم‌زننده قرار داشتند. پوشش دارای کیفیت پایین در جزیره‌های کوچک سبب ایجاد همتافت‌های فنل پروتیین با میزان آزادسازی بسیار پایین نیتروژن و کربن گردید، درنتیجه توان تولید تا حدی در جزایر کوچک در این مطالعه کاهش یافت، اما نسبت کربن بوم‌سامان ذخیره‌شده در هموس خاک و میزان کل کربن هموس در هکتار در جزایر کوچک بسیار بالاتر بود. مساحت هر قطاع از دایره در ارتباط با کل کربن در مترمربع می‌باشد.

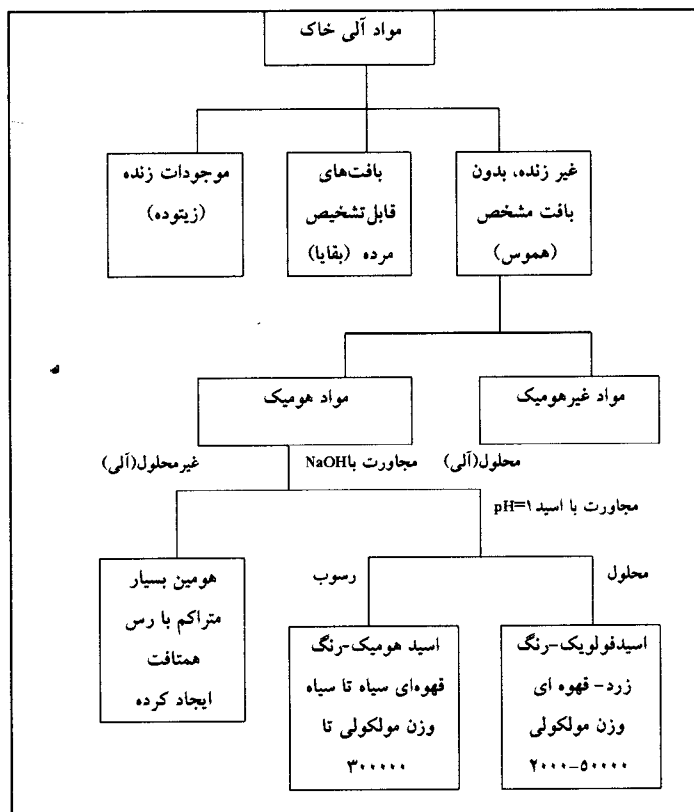
[1] - Oxic Paleudults
[2] - Gliricida
[3] - Leucaena



شکل۸-۱۲ شیوه‌های آزادشدن نیتروژن از بقایای آلی متفاوت از نظر کیفیت براساس نسبت $^{C}/_{N}$، میزان لگنین و پلی‌فنل آنها طی زمان. میزان لگنین بیشتر از ۱۵ درصد، پلی‌فنل بیش از ٤درصد و نسبت $^{C}/_{N}$ بیشتر از ۳۰ درصد همگی در این شکل میزان بالا تلقی می‌شوند. ترکیب این خصوصیات یک لاشبرگ با کیفیت پایین را می‌سازد که دارای توان محدودی برای تجزیه میکروبی و معدنی‌شدن عناصر غذایی می‌باشد.

۴-۱۲ هموس: پیدایش و سرشت

واژه‌ی عمومی ماده‌ی آلی که تمام اجزاء آلی خاک را دربرمی‌گیرد شامل: (۱)زیتوده زنده (بافت‌های دست‌نخورده حیوانات و ریزجانداران)(۲)ریشه مرده و سایر پس‌ماندهای قابل‌تشخیص و(۳) مخلوطی از مواد پیچیده آلی عمدتاً بی‌شکل کلوییدی که دیگر به‌صورت اندام گیاهی قابل‌تشخیص نمی‌باشد. فقط دسته‌ی سوم ماده‌ی آلی اختصاصاً هموس نامیده می‌شوند. (شکل ۹-۱۲ را مشاهده کنید).

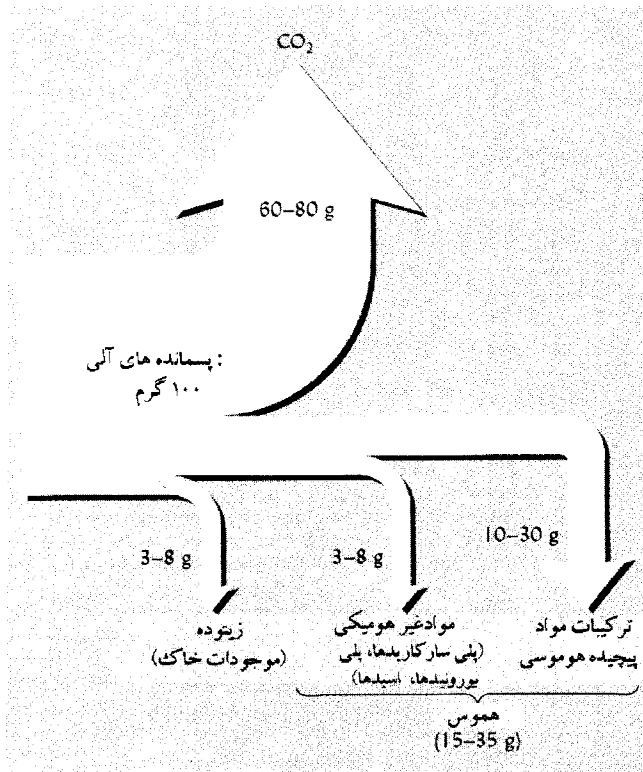


شکل۹-۱۲ طبقه‌بندی اجزای ماده‌ی آلی که با روش‌های شیمیایی و فیزیکی قابل‌جداشدن می‌باشند گرچه پس‌ماندهای گیاهی لاشبرگ به‌طور جهانی به عنوان بخشی از ماده‌ی آلی به‌حساب نمی‌آید، آنها در این شکل منظور شده‌اند زیرا جزء اصلی افقO در خاکرخ می‌باشند. قابلیت انحلال در محلولهای بازی و اسیدی معیاری است که به طور گسترده برای گروه‌بندی بخش‌های مختلف هموس خاک به کار می‌رود. طرح کلاسیک که مواد هومیکی را به هومین، اسید فولویک و اسید هومیک تقسیم‌بندی می‌کند (در بخش پایین جدول نشان داده شده است) ، بر اساس عدم حلالیت آنها در سود سوزآور (هومین) و حلالیت بعدی آنها(اسید فولویک) و یا عدم حلالیت بعدی آنها (اسید هومیک) در محلولهای اسیدی با pH یک می‌باشد.

تغییر شکل به‌وسیله‌ی میکروب‌ها

با پیشرفت تجزیه پس‌ماندهای گیاهی، میکروب‌ها به آهستگی ترکیبات پیچیده را به ترکیبات ساده‌تر تجزیه می‌کنند. در این فرایند بخشی از لگنین به ترکیبات فنلی تجزیه می‌شود. سپس میکروب‌های خاک، ترکیبات ساده را در سوخت‌وساز مصرف می‌کنند. بخشی از کربن که به‌صورت گازکربنیک در فرایند تنفس مصرف نشده است، همراه با اکثر نیتروژن، گوگرد و اکسیژن این ترکیبات برای بازساختن اجزای جدید یاخته‌ای و مولکول‌های زیستی به‌وسیله‌ی میکروب‌ها مصرف می‌گردند. بخشی از لگنین اصلی به‌طور کامل تجزیه نشده اما

تغییریافته و مولکول‌های پیچیده را تشکیل می‌دهد که بسیاری از خصوصیات لگنین را دارا می‌باشد. میکروب‌ها بعضی از ترکیبات جدید ساده و محصولات حاصل از تجزیه را به همدیگر متصل (پلی‌مریزه) نموده و زنجیرهای طویل پیچیده‌ای را ایجاد می‌کنند که درمقابل تجزیه بیشتر مقاوم می‌باشند. این ترکیبات دارای وزن مولکولی بالا با ترکیبات اسید آمینه دارای نیتروژن در تعامل قرار گرفته و بخش عمده‌ای از مواد مقاوم هموس را تشکیل میدهد. تشکیل این پلی‌مرها درحضور رس‌های کلوییدی تقویت می‌شود. این ترکیبات پلی‌مری مقاوم پیچیده، تا حدی نامشخص، ترکیبات هومیکی[1] نامیده می‌شوند. مولکول‌های زیستی قابل‌تشخیص دارای مقاومت کمتر، که به‌وسیله‌ی فعالیت میکروب‌ها ایجاد می‌گردند، به‌طور دسته‌جمعی مواد غیرهومیکی[2] نامیده می‌شوند. یک‌سال پس از اضافه‌کردن پس‌ماندهای گیاهی به خاک قسمت اعظم کربن به‌صورت گاز کربنیک به نیوار بازگشته است اما ۵/۱ تا۳/۱ آن به‌صورت زیتوده (حدود۵ درصد)، و یا بخش‌های هومیکی (حدود ۲۰ درصد) و غیرهومیکی (حدود ۵ درصد) در خاک باقی می‌مانند (شکل۱۰-۱۲). بخشی از پس‌ماندهای گیاهی که در ریشه باقی می‌ماند دارای نسبت‌های بیشتری از مواد فوق‌الذکر در لاشبرگ مخلوط شده با خاک می‌باشد.



شکل۱۰- ۱۲ جابه‌جایی ۱۰۰ گرم پس‌ماندهای آلی یک‌سال پس از مخلوط‌کردن آنها با خاک. بیشتر از ۳/۲ کربن به گازکربنیک اکسیده شده و کمتر از ۳/۱ در خاک باقی مانده است، که بخشی از آن در یاخته جانداران جای گرفته اما بخش بزرگ‌تر آن به‌صورت هموس خاک می‌باشد. مقدار تبدیل شده به گازکربنیک معمولاً در بقایای سطحی (لاشبرگ) بیشتر از پس‌ماندهای زیرزمینی (ریشه) می‌باشد.

مواد هومیکی

مواد هومیکی، شامل حدود ۸۰- ٦۰ درصد ماده‌ی آلی خاک می‌باشند آنها از مولکول‌های عظیم با ساختمان و ترکیب متغیر نه مشخص تشکیل شده‌اند. مواد هومیکی به‌وسیله‌ی مواد معطر با ساختمان حلقوی مشخص می‌شوند که پلی‌فنل‌ها[3] (ترکیبات متعدد فنلی که با همدیگر اتصال یافته‌اند) و پلی‌کونین‌ها[4] با پیچیدگی بیشتر را شامل می‌باشند. مواد هومیکی معمولاً دارای رنگ تیره و بی‌شکل بوده و وزن مولکولی آنها در فاصله ۳۰۰۰۰۰ — ۲۰۰۰ گرم در مول متغیر می‌باشد. به‌دلیل پیچیدگی، آنها مقاوم‌ترین ماده‌ی آلی درمقابل حمله میکروبی می‌باشند.

گروه‌بندی حلالیت: از نظر تاریخی مواد هومیکی براساس حلالیت، در سه گروه شیمیایی طبقه‌بندی می‌شوند (شکل۹-۱۲)، که عبارتند از: (۱)اسیدفولویک[5] با پایین‌ترین وزن‌مولکولی، دارای رنگ روشن، محلول در اسید و باز و بسیارحساس به حمله‌ی میکروبی،(۲)اسیدهومیک[6]

---

[1] - Humic substances
[2] - Non humic substances
[3] - Polyphenols
[4] - Polyquinones
[5] - Fulvic acid
[6] - Humic acid

با وزن مولکولی و رنگ متوسط محلول در باز اما غیرمحلول در اسید و با مقاومت متوسط در مقابل تجزیه (۳)هومین با بالاترین وزن مولکولی، تیره‌ترین رنگ، غیرمحلول در اسید و باز و بسیارمقاوم به حمله‌ی میکروبی می‌باشند. متأسفانه، ثابت شده است که این طبقه‌بندی از نظر بوم‌شناسی کاربرد محدودی دارد.

هرسه گروه از مواد هومیکی در خاک‌ها نسبتاً پایدار می‌باشند. حتی اسیدفولویک که به آسانی قابل‌تجزیه است در مقابل حمله میکروبی مقاوم‌تر از اکثر پس‌ماندهای گیاهی تازه افزوده به خاک است. بسته به شرایط محیط نیمه‌ی عمر (زمانی که برای ازبین‌رفتن نصف یک ماده لازم است) در اسید فلویک ممکن است ۱۰- ۵ سال باشد درصورتی‌که نیمه عمر اسید هومیک معمولاً برحسب قرن بیان می‌شود.

مواد غیرهومیکی

حدود۲۰ تا۳۰ درصد هموس شامل مواد غیرهومیکی می‌باشد. این مواد دارای پیچیدگی کمتر بوده و درمقابل حمله‌ی میکروبی مقاومت کمتری از مواد هومیکی نشان می‌دهند. برخلاف مواد هومیکی، آن‌ها از مولکول‌های زیستی خاص با خصوصیات فیزیک و شیمیایی معینی تشکیل شده‌اند. بعضی از این مواد غیرهومیکی شامل ترکیبات گیاهی تغییریافته به‌وسیله‌ی میکروب‌ها بوده، درحالی‌که بقیه ترکیبات بازسازی شده حاصل از تجزیه به‌وسیله‌ی میکروب‌ها می‌باشند.

در میان مواد غیرهومیکی پلی‌ساکاریدها که پلی‌مرهایی با ساختمان شبیه شکر و فرمول کلی $Cn(H_2O)m$ با n و m متغیر، که از نظر بالارفتن ثبات خاکدانه‌ها اهمیت خاصی داشته (بخش ۷-٤ را مشاهده کنید)، و پلی‌ارونیدها، که در گیاهان وجود نداشته امّا در ترکیبات و بازسازی به‌وسیله‌ی میکروب‌ها ساخته می‌شوند، قرار دارند.

بعضی از ترکیبات حتی ساده‌تر، مانند اسیدهای آلی با وزن مولکولی پایین و بعضی مواد شبه‌پروتیین، بخشی از گروه غیرهومیکی به‌حساب می‌آیند. گرچه هیچ‌کدام از این مواد ساده در مقادیر زیاد یافت نمی‌شوند، حضور آن‌ها، و به‌خصوص اثر آن‌ها بر روی قابلیت استفاده بعضی از عناصر غذایی مانند نیتروژن و آهن، و اثر مستقیم آن‌ها بر روی رشد گیاهان مهم می‌باشد.

پایداری هموس

مطالعات استفاده‌شده از مواد پرتوزا نشان داده‌اند بعضی از کربن‌های آلی تبدیل‌شده به هموس از هزاران سال قبل هنوز در خاک حضور دارند که حاکی از مقاومت بسیار بعضی مواد هموسی در برابر تجزیه‌ی میکروبی است. این مقاومت مواد هموسی به اکسیده‌شدن در حفظ میزان ماده‌ی آلی و نگهداری نیتروژن و سایر عناصر غذایی همراه آن در مقابل معدنی‌شدن و هدررفت در داخل خاک مهم می‌باشد. برای مثال تشکیل همتافت پلی‌فنل- پروتیین می‌تواند نیتروژن پروتیین را از حمله‌ی میکروبی مصون دارد، هموس به‌رغم مقاومت نسبی آن به تجزیه‌شدن، در معرض حمله‌ی مداوم میکروبی قرار دارد. بدون افزایش سالانه پس‌ماندهای گیاهی کافی ، اکسایش میکروبی سبب کاهش میزان ماده‌ی آلی خاک خواهد شد.

ترکیبات رس و هموس : تعامل با کانی‌های رسی راه دیگری برای تثبیت نیتروژن خاک و ماده‌ی آلی می‌باشد. بعضی از رس‌ها به‌خاطر جذب و نگهداری موادی مانند اسید آمینه ها، پپتیدها، پروتیین‌ها مشهور بوده، و ایجاد مواد پیچیده‌ای می‌کنند که ترکیبات حاوی نیتروژن را از تجزیه‌ی میکروبی محافظت می‌کند. ماده‌ی آلی به‌دام افتاده در منافذ بسیار کوچک (کمتر از ۱ میکرون) ایجاد شده به‌وسیله‌ی ذرات رسی به‌طور فیزیکی برای موجودات تجزیه‌کننده غیرقابل دسترس می‌باشد همچنین، امکان دارد که رس‌های سیلیکاتی لایه‌لایه، مانند ورمی‌کولیت مواد آلی را در بین لایه‌های خود در اشکالی محکم نگهداری کرده، به‌طوری‌که در مقابل تجزیه به‌شدت مقاومت کنند.

بنابراین، رس همراه با پلی‌مرهای هوموسی و پلی‌ساکارید می‌توانند ترکیبات نیتروژنی نسبتاً ساده را از حمله‌ی میکروبی حفظ کنند در بسیاری از خاک‌ها، بیشتر از نصف ماده‌ی آلی همراه با رس و دیگر ترکیبات معدنی می‌باشند. گرچه وسعت و سازوکار مربوطه هنوز به‌خوبی شناخته نشده است. تعامل رس/ هموس تا حدی بیانگر میزان ماده‌ی آلی بالای خاک‌های رسی می‌باشد.

خصوصیات کلوییدی هموس

در فصل ۸ سرشت کلوییدی هموس مورد تأکید قرارگرفت. سطح هموس در واحد جرم بسیار بالا، و معمولاً از رس‌های سیلیکاتی فزون‌تر می‌باشد. سطح کلوییدی هموس به‌خاطر جداشدن H^+ از گروه‌های کربوکسیل(COOH-) وفنلی(OH-) دارای بار منفی است. میزان بار منفی وابسته به pH است. در pH های بالا ظرفیت تبادلی هموس بر اساس جرم (۱۵۰ تا ۳۰۰ سانتی‌مول در کیلوگرم) به‌مراتب از اکثر رس‌های سیلیکاتی بیشتر است. هرچند به‌دلیل این‌که هموس دارای جرم حجمی کمتر از رس می‌باشد، ظرفیت تبادل کاتیونی هموس بر اساس حجم (۴۰ – ۸۰ سانتی‌مول در لیتر) برابر با رس‌های سیلیکاتی می‌باشد. واکنش‌های تبادل کاتیونی هموس به‌طور کیفی مشابه

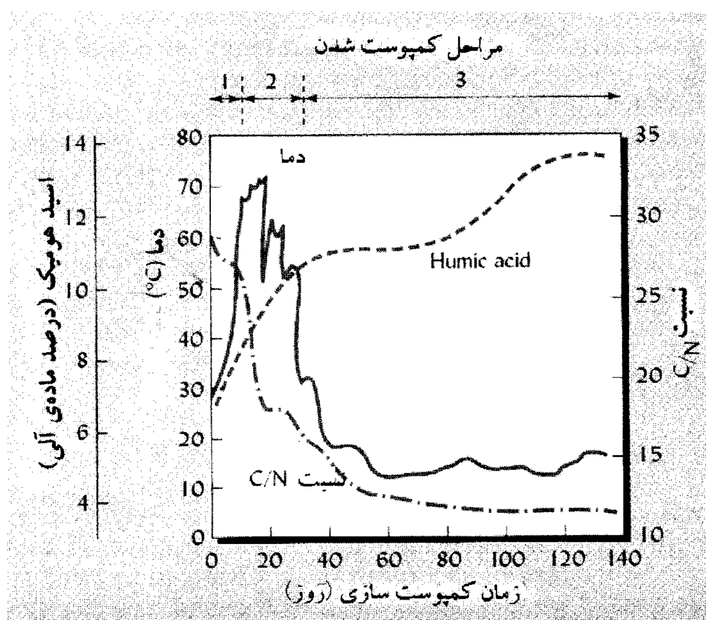
واکنش‌هایی است که با رس‌های سیلیکاتی انجام می‌شوند. میسل هموس همانند ذرات کلوییدی رس دسته‌ای از کاتیون‌های جذب‌شده (Ca^{2+}، H^{+}، Mg^{2+}، K^{+}، Na^{+} و ...) را در بردارد که با کاتیون‌های محلول خاک مورد تبادل قرار می‌گیرند.

ظرفیت نگهداری آب هموس بر اساس جرم (نه بر اساس حجم) ٤ تا ٥ برابر رس‌های سیلیکاتی است و هموس نقشی در تشکیل خاکدانه‌ها و ثبات آنها ایفا می‌کند. مولکول‌های بسیار پیچیده هموس دارای ساختاری شیمیایی است که می‌توانند تمام طول‌موج‌های قابلیت رؤیت نور را جذب کنند و به آن رنگ تیره خاصی می‌دهد (برای نمونه، افق A غنی از هموس در تابلوهای رنگی ۲ و ۸ را مشاهده کنید).

۱۲-۵ کمپوست و کمپوست‌کردن

کمپوست‌کردن عبارتست از ایجاد مواد آلی هموس‌مانند در خارج از محیط خاک با مخلوط‌کردن، انباشتن و یا انبارنمودن مادەی آلی در شرایطی که منجر به تجزیه هوازی و حفظ عناصر غذایی گردد. فرایند تجزیه و جانداران مؤثر در آن بسیار شبیه مواردی است که قبلاً در مورد تشکیل هموس در خاک‌ها تشریح گردید، اختلاف عمده در این است که در کمپوست‌سازی تجزیه در خارج از خاک انجام گشته و در این شکل متراکم سبب ایجاد حرارت قابل‌ملاحظه‌ای می‌گردد. محصول نهایی یا کمپوست به‌خاطر استفاده از آن به‌صورت خاک‌پوش، مخلوط خاک گلدانی و یا کود آلی دارای سرعت کم آزادسازی عناصر، مشهور است.

فرایند کمپوست‌سازی: وقتی حجم کافی از مواد آلی مناسب در یک حالت مرطوب با تهویه خوب نگهداری می‌شود در یک فرایند سه مرحله‌ای تجزیه (شکل ۱۱-۱۲) قرار می‌گیرد : (۱)در طی مرحلەی کوتاه معتدل‌دوستی (مزوفیلی) اولیه[1]، شکر و منابع غذایی قابل‌استفاده دیگر به‌سرعت مورد سوخت‌وساز میکروبی قرار می‌گیرد که سبب می‌شود دمای تودەی کمپوست به‌تدریج از دمای محیط بیشتر شده و به ٤٠ درجەی سانتی‌گراد افزایش یابد.(۲) مرحلەی گرمادوستی (ترموفیل[2]) که در طول یک دو هفته بعد انجام می‌گیرد، طی آن دما به ۵۰ تا ۷۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته و جودات گرمادوست، سلولز و سایر مواد مقاوم‌تر را تجزیه می‌کنند. مخلوط‌کردن مکرر طی این مرحله برای تأمین اکسیژن و یکنواخت‌شدن دمای تمام مواد ضروری می‌باشد. مواد دارای سهولت تجزیه مصرف شده و ترکیبات هموس مانند در طی این مرحله ساخته می‌شوند(۳) مرحلەی معتدل‌دوستی (مزوفیل) ثانویه[3] و یا مرحله عمل‌آوری هموس که طی آن دما به حدود دمای محیط تنزل یافته و مواد به تسخیر موجودات مزوفیل از جمله موجودات مفید که مواد تحریک‌کنندەی رشد و یا مواد ناهمساز با قارچ‌های بیماری‌زا را ایجاد می‌کنند، در می‌آید. این مرحله ممکن است هفته‌ها و یا ماه‌ها ادامه داشته باشد.



شکل ۱۱-۱۲ تغییرات دما، نسبت C/N و میزان اسیدهومیک مادەی آلی درطول تولید هموس از پس ماندهای جامد شهری(MSW)[4]. کمپوست هر هفته یک بار درطول ۷ هفته اول برگردانده شده (برای تهویه و مخلوط‌کردن) و پس از آن به بعد هر دو هفته یکبار برگردانده شده مراحل فرایند کمپوست‌کردن عبارتند از(۱)مرحلەی معتدل‌دوستی اولیه(۲)مرحلەی گرمادوستی و(۳)مرحلەی معتدل‌دوستی نهایی.

---
[1] - Initial mesophilic stage
[2] - Thermophilic stage
[3] - Secend mesophilic or curing stage
[4] - Municipal Solid Wastes

سرشت کمپوست تولیدشده: با هوموسی‌شدن مواد آلی خام در یک توده‌ی کمپوست میزان مواد غیرهومیکی کاهش یافته و میزان اسید هومیک به‌طور مشخص افزایش می‌یابد (شکل ۱۱-۱۲). در طول فرایند کمپوست‌کردن، نسبت C/N مواد آلی در توده‌ی کمپوست تا یک نسبت تقریباً پایدار در فاصله ۱/۱۴ تا ۱/۲۰ کاهش می‌یابد. CEC ماده‌ی آلی تا حدود ۷۰ – ۵۰ سانتی‌مول در کیلوگرم کمپوست افزایش می‌یابد.

گرچه حدود ۵۰٪ و یا بیشتر کربن مواد اولیه در طول کمپوست‌کردن از دست می‌رود، عناصر غذایی عمدتاً حفظ می‌گردند. بنابراین، کمپوست نهایی دارای غلظت بیشتری از عناصر غذایی درمقایسه با ترکیبات خام مواد اولیه مصرف شده بوده و می‌تواند به‌عنوان وسیله‌ای برای ارتقاء حاصلخیزی خاک به‌کار رود. کمپوست نهایی باید عاری از بذور زنده گیاهان هرز و موجودات بیماری‌زا باشد، زیرا این عناصر معمولاً در طول مرحله‌ی گرمادوستی از بین می‌روند. هرچند آلاینده‌های معدنی، مانند فلزات سنگین در کمپوست شدن از بین نمی‌روند.

مدیریت مناسب کمپوست به‌منظور مناسب‌بودن کمپوست برای خاک‌های گلدانی و یا اصلاح خاک لازم است(تابلو ۱-۱۲).

مزایای کمپوست‌کردن: اگرچه ایجاد کمپوست ممکن است نیازمند کار و هزینه‌ی بیشتر درمقایسه با استعمال مواد آلی کمپوست نشده مستقیماً در داخل خاک باشد، اماً فرایند شامل ۷ مزیت مشخص است:

۱-ذخیره مطمئن: کمپوست‌کردن وسیله‌ای را برای ذخیره مواد آلی به‌طور مؤثر و مطمئن تا موقع مناسب مصرف آن‌ها در مزرعه فراهم می‌سازد.

۲- مدیریت آسان: به‌خاطر ازدست‌رفتن CO_2 و نشست، حجم مواد آلی کمپوست‌شده حدود۳۰ تا۵۰درصد طی این فرایند کاهش می‌یابد، حجم کمتر و یکنواختی بیشتر مواد باقیمانده مدیریت استفاده نهایی مواد آلی را به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک و یا مواد گلدانی آسان‌تر می‌سازد.

۳- اجتناب از رقابت نیتروژن: در پس‌ماندهای گیاهی دارای نسبت C/N اولیه بالا، با کمپوست‌کردن مناسب اطمینان می‌یابیم که زمان کسادی نیترات خارج از خاک در داخل توده‌ی کمپوست انجام گرفته بنابراین از کاهش نیتروژن در محصولات زراعی اصلی جلوگیری می‌شود.

۴- پایداری نیتروژن: کمپوست‌کردن می‌تواند خسارت زیست‌محیطی نیترات را از مواد آلی دارای نسبت C/N بسیارپایین (مانند کود دامی و لجن فاضلاب) کاهش دهد، هنگام مصرف در خاک، مواد کمپوست‌شده معمولاً بسیار آهسته‌تر از مواد کمپوست‌نشده ماده‌ی آلی تجزیه و معدنی می‌شوند. کمپوست‌کردن این مواد دارای نسبت C/N پایین با مواد دارای نسبت C/N بالا مانند خاک اره، قطعات چوب، برگ‌های پیر درختان و یا مواد زائد شهری کربن کافی را برای میکروب‌ها جهت عدم تحرک نیتروژن اضافی و به‌حداقل رساندن هر گونه خطرات نیترات از مواد دارای C/N پایین فراهم می‌کند به‌علاوه نیتروژن کافی برای تسریع تجزیه مواد دارای C/N بالا آماده می‌سازد.

۵- ضدعفونی‌کردن نسبی: دماهای بالا در مرحله گرمادوستی در توده‌های کمپوست با مدیریت خوب بذر اکثر گیاهان و عوامل بیماری‌زا را در طول چند روز از بین می‌برد. در شرایط غیرآرمانی، دما در بخشی از توده‌ی کمپوست از ٤٠ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد بالاتر نمی‌رود، لذا هفته‌ها و ماه‌ها برای به‌دست‌آوردن همان نتایج لازم می‌باشد.

۶- سمیت‌زدایی : اکثر مواد سمی که ممکن است در ضایعات آلی (آفت‌کش‌ها و مواد سمی گیاهی طبیعی) موجود باشند در طول کامل‌شدن و آماده‌گردیدن کمپوست برای مصرف از بین می‌روند. بنابراین کمپوست اغلب به‌صورت روش زیستی برای مداوای خاک‌های آلوده و ضایعات به‌کار می‌رود (بخش ٦-۱۸ را مطالعه کنید).

۷- فرونشاندن امراض : بعضی از کمپوست‌ها می‌توانند امراض نباتی ناشی از خاک را به‌طور مؤثر با تقویت رقابت میکروبی فرو نشانند، اکثر موفقیت در کاهش امراض وقتی صورت می‌گیرد که کمپوست خوب عمل آمده به‌عنوان جزء اصلی مخلوط گلدانی در گیاهان گلخانه‌ای مصرف گردد. فرونشانی امراض نیز با مصرف کمپوست در مزرعه در مواردی مشاهده شده است.

۶-۱۲ اثرات مستقیم ماده‌ی آلی در رشد نبات

مشاهده رشد بهتر گیاهان به‌طور کلی در خاک‌های غنی از ماده‌ی آلی از مدت‌ها قبل مردم را به این فکر انداخته بود که گیاهان بیشتر عناصر غذایی خود را از طریق جذب هموس از خاک‌ها به‌دست می‌آورند. حال می‌دانیم که گیاهان عالی کربن خود را از طریق گازکربنیک هوا به‌دست‌آورده و اکثر عناصر غذایی مورد نیاز آنها از یون‌های معدنی محلول خاک تأمین می‌شود. در واقع، گیاهان می‌توانند چرخه‌ی حیات خود را بدون هموس و یا حتی خاک (در نظام آب‌کشتی (Hydroponic , Aquacalture) بدون خاک با استفاده از محلول‌های غذایی هوادار) تکمیل کنند. این بدان معنی نیست که اهمیت هموس از آن‌چه قبل درباره آن تصور می‌شد برای گیاهان کمتر است، بلکه بیشتر حاکی از این است که بسیاری از اثرات مفید هموس بر رشد گیاه به‌صورت غیرمستقیم و بر خصوصیات خاک است. این مطلب را در بخش ۷-۱۲، بعد از بررسی دو اثر مستقیم ماده‌ی آلی بر روی گیاهان مورد ملاحظه قرار خواهیم داد.

تابلو ۱-۱۲ مدیریت تودهی کمپوست
مواد مورد نیاز: برای منازل شخصی، مواد مناسب برای کمپوستکردن شامل برگها (ترجیحاً قطعهقطعهشده)، خردهریز چمن، گیاهان هرز (قبل از اینکه به بذر رفته باشند)، اشغال آشپزخانه، تراشههای چوب، آشغال جویها، برگ سوزنیبرگان، علوفه خراب (بهخصوص خانواده نیامداران)، کاه (کپهای بستهبندی قبلی نیز قابلاستفاده میباشد) و حتی گردوخاک ماشینهای جاروبرقی میباشند. کمپوستکردن مقیاس بزرگ تجاری معمولاً از موادی مانند مواد زائد شهری (عمدتاً اشغال و کاغذ) لجن فاضلاب، قطعات چوب، کود دامی، برگ درختان شهری و مواد زائد کارخانههای مواد غذایی استفاده میکند.
موادی که از مصرف آنها باید اجتناب کرد: بعضی مواد که از مصرف آنها باید اجتناب کرد عبارتند از: گوشت و اشغال آن (جوندگان را جلب میکند)، فضولات گربه (میتواند حامل میکروبهایی باشد که درصورت ابتلای مادران سبب صدماتی به جنین و نوزادان شود)، مواد زائد چوب حاصل از کارخانههای ساخت تخته الوار و سهلایی در حرارت زیاد (دارای فلزات سنگین و ارسنیک)، پلاستیک و شیشه (غیرقابل تجزیه، مزاحم و یا خطرناک در مراحل نهایی).
عناصر غذایی متعادلکننده : برای کمپوستکردن مؤثر و ایجاد محصول نهایی بهینه، عناصر غذایی مواد خام باید در تعادل باشند. هرچند مواد هیدروکربنه درصورت برگرداندن مرتب و داشتن رطوبت کافی میتوانند بهطور رضایتبخشی کمپوست شوند. بهترین نتیجه وقتی بهدست میآید که مواد با نسبت C/N بالا، مانند کاه و یا کاغذ با مواد دارای C/N کم (باقیمانده چمنزنی، علف نیامدار، خون خشک، لجن فاضلاب و یا کود) مخلوط گردد. سایر مواد که برای بهبود تعادل عناصر غذایی و میزان آنها اضافه میشوند عبارت از کودهای مرکب (غنی از K, P, N)، خاکستر چوب (غنی ازMg, Ca, K)، گرد استخوان و یا گرد سنگ فسفات (غنی از فسفر و کلسیم) و علف دریایی (غنی از Ca, Mg, K و عناصر کممصرف) میباشند. بعضی از این مواد دارای نمکهای محلول زیادی بوده که لازم است نمک در کمپوست عمل آمده نهایی قبل از مصرف برای گیاهان حساس به شوری آبشویی گردد.
روشهای کمپوستکردن : طراحی تودهی کمپوست باید ضمن آنکه امکان تهویه خوب را در سرتاسر کپهی کمپوست پیشبینی کند، تراکم کافی را در توده را بهخاطر ایجاد گرما و جلوگیری از خشکشدن اضافی تودهی کمپوست فراهم کند. تودهی کمپوستهای خانگی دارای سطح مقطع ۱/۵-۱ متر مربع و ارتفاع ۱/۵ - ۱ متر است. محفظههای پیشساختهی تجاری کمپوست به بازار آمده است که زیر و روکردن کمپوست را آسانتر کرده و مشکلات ساخت محفظههای کمپوست را از بین برده است. کمپوستکردن در مقیاس بزرگ معمولاً در تلانبارهای ردیفی با عرض ۳-۲ متر و ارتفاع ۲ متر و چندین متر طول انجام میشوند. در اقالیم خشک، کمپوستکردن در چالههای که دارای یک متر عمق است برای جلوگیری از خشکشدن کمپوست انجام میگیرد. مواد مختلفی که باید کمپوست شوند میتوانند با هم مخلوط شده و یا در لایههای نازکی روی هم قرار گیرند. معمولاً یک مقدار خاک مزرعه و یا کمپوست عمل آمده برای اطمینان از وجود جانداران تجزیهکننده بهمقدار کافی اضافه میشود. فعالکنندههای تجزیهی میکروبی کمپوست بهطور تجاری موجودند. بعضی از آنها ممکن است حرارت اولیه را در تودهی کمپوست بالا ببرند. اما آزمایشهای علمی مزیت دیگری را در استفاده از این محصولات ثابت نکرده است.
تنظیم رطوبت و تهویه: برای کمپوستکردن موفقیتآمیز تنظیم رطوبت و تهویه لازم است. سطوح پایین اکسیژن دراثر بههمنزدن کافی بهانضمام رطوبت اضافی میتوانند بوهای متعفن، همانند تجزیه غیرهوازی ایجاد کند. نظارت بر دما و میزان اکسیژن توده میتواند از این مسأله جلوگیری کند. تهویه خوب میتواند با مخلوطکردن یک ماده حجیم مانند قطعات چوب و یا اجتناب از تراکم بیشتر بهبود یابد. تجزیهی مادهی آلی میتواند با چرخاندن تودهی کمپوست هنگام پایینافتادن دما و با فرستادن جریانی از هوا بهداخل آن تسریع گردد (شکل ۲-۱۲). چرخاندن کمپوست درطول دوره گرمادوستی هروقت که دمای توده پایین افتاد باید انجام گیرد. کمپوست باید به صورت مرطوب نگهداری شود، اما وقتی فشرده میشود نباید تر باشد کمپوست دارای مقدار کافی رطوبت (۷۰ -۵۰ درصد) مرطوب احساس میشود اما، قطرهای آب از آن نمیچکد. چرخاندن تودهی کمپوست در طول هوای خشک میتواند سبب ازدسترفتن رطوبت اضافی شود، درحالیکه گرداندن آن در طول بارش ممکن است سبب مرطوبکردن تودهی بسیار خشک گردد.



شکل ۱۲-۱۲ یک روش کارآمد با مدیریت اسان برای کمپوست‌کردن که مناسب منازل می‌باشد روش سه محفظه‌ای است، (الف) در این روش مواد در هنگام زیر و رو شدن ازیک محفظ به محفظه دیگر منتقل می‌شوند. محفظه در سمت چپ دارای مواد نسبتاً تازه بوده، در صورتی‌که محفظه‌ای که در منتهی الیه سمت راست قرار دارد شامل کمپوست تمام شده است. این محفظه‌ها در مؤسسه‌ی تحقیقاتی رودال در پنسیلوانیا عمدتاً برای کمپوست‌کردن خرده ریزهای چمن زنی و پس‌ماندهای گیاهی در یک باغ سبزی کاری به‌کار می‌روند. اکثر عملیات کمپوست‌سازی در مقیاس بزرگ از ردیف‌های انبار شده طولانی استفاده می‌کنند که می‌تواند به‌وسیله‌ی ماشین‌های مخصوص زیر و رو شده، و یا به‌وسیله‌ی فرستادن هوا به‌داخل توده انبار شده و یا به‌داخل لوله‌های مشبک داخل توده، تهویه انجام گردد (ب). در مورد نشان داده شده در عکس، لجن فاضلاب با قطعات چوب مخلوط شده و به‌وسیله‌ی روش هوادهی بلتس‌ویل وزارت کشاورزی آمریکا* کمپوست شده است. هوا از داخل ردیف‌های بلند توده‌ی کمپوست خارج شده و به‌داخل توده‌های عمل آمده فرستاده می‌شود تا بوی موجود در جریان هوا جذب شود.

* - USDA Beltsville aerated pile method

اثر مستقیم هموس در رشد گیاه

به‌خوبی مشخص شده است که ترکیبات آلی خاص به‌وسیله‌ی گیاهان عالی جذب می‌شوند. گیاهان می‌توانند بخش کوچکی از نیازهای نیتروژن و فسفر خود را به‌صورت ترکیبات آلی محلول جذب کنند. ترکیبات مختلف تسریع رشد مانند ویتامین‌ها، اسید آمینه‌ها، اکسین و جبرلین با تجزیه‌ی ماده‌ی آلی تشکیل می‌شوند. این مواد می‌توانند در مواقعی سبب تحریک رشد در گیاهان عالی و ریزجانداران شوند.

مشخص شده است که مقادیر اندکی از اسید فولویک و اسید هومیک در محلول خاک سبب ارتقاء بعضی از جنبه‌های رشد گیاهی می‌شود (جدول ۵-۱۲ را مشاهده کنید). اجزای این مواد هومیکی احتمالاً به‌عنوان تنظیم‌کننده فعالیت خاص در رشد گیاه مانند طویل‌شدن یاخته و آغاز ریشه‌دوانی جانبی عمل می‌کنند. غلظت این مواد هومیکی مؤثر در تحریک رشد معمولاً در مناطق مرطوب به‌مقدار ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر (قسمت در میلیون) در تحریک رشد گیاهی مؤثری باشد.

محصولات هوماتی تجاری با این ادعا که مقادیر اندک آنها سبب ارتقاء رشد گیاه می‌شود مورد دادوستد قرار می‌گیرند. اما آزمایش‌های علمی بر روی بسیاری از این محصولات نتوانسته است مزایایی را با مصرف آنها به اثبات برساند، شاید به این دلیل که میزان مواد هومیکی مؤثر به‌طور طبیعی در اکثر خاک‌ها وجود دارد.

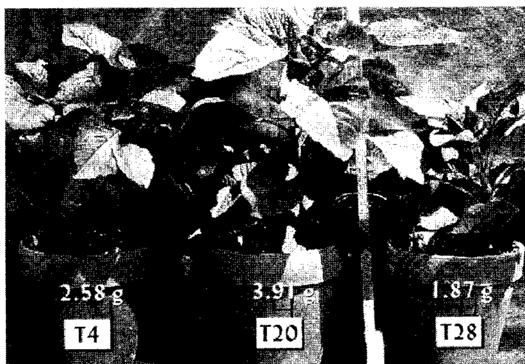
جدول ۵-۱۲ بعضی اثرات مستقیم مواد هومیکی بر روی رشد نبات

اثرات بر رشد گیاهی	مواد هومیکی	میزان غلظت میلی‌گرم در لیتر
جذب سریع آب و ارتقاء جوانه‌زدن بذرها	اسید هومیک	۱۰۰ – ۱
تحریک ریشه‌دوانی و طولانی‌شدن ریشه	اسید هومیک و اسیدفولویک	۳۰۰ – ۵۰
ارتقاء طولانی‌شدن یاخته ریشه	اسید هومیک	۲۵ – ۵
ارتقاء رشد شاخه و ریشه گیاه	اسید هومیک و اسیدفولویک	۳۰۰ – ۵۰

اثرات آللوشیمیایی[1]: دگرآزاری (اللوپاتی[2]) فرایندی است که در آن در اثر مواد شیمیایی حاصل از نبات در خاک، رشد دیگر گیاهان تحت تأثیر قرار می‌گیرد. ممکن است نبات این کار را مستقیماً با ترشح مواد شیمیایی دگرآزار انجام داده و یا این‌که این ترکیبات براثر سوخت‌وساز میکروبی از تجزیه‌ی بافت‌های مرده نبات به‌دست آید(شکل ۱۳-۱۲). واژگان دگرآزاری شیمیایی همچنین گاهی به مواد شیمیایی گیاهی که سبب توقف رشد ریزجانداران می‌شوند به‌کار می‌رود. در اصل تعامل بسیار مشابه روابط ناهمسازی در بین بسیاری از ریزجانداران است که در فصل ۱۵-۱۱ مورد بحث قرار گرفت.

مواد شیمیایی دگرآزار موجود در خاک به‌طور آشکار در بسیاری از اثرات مفید و منفی مشاهده شده هنگامی‌که نباتات مختلف همراه یکدیگر کشت می‌شوند مسئول می‌باشند. علف‌هرزهای خاص (علف جانسون[3] و دم‌روباهی عظیم‌الجثه[4]) با تولید چنین مواد شیمیایی سبب ایجاد خساراتی در محصولات دیگر به‌مراتب بیش از اندازه و تعداد نسبی علف هرز موجود می‌شود. پس‌ماندهای گیاهی باقیمانده در سطح ممکن است سبب محدودیت جوانه‌زنی در رشد محصول بعدی مورد کاشت گردد (برای مثال، بقایای گندم معمولاً سبب محدودیت رشد ذرت خوشه‌ای می‌شوند). سایر تعامل‌های دگرآزاری در توالی گونه‌ها در تکامل و بلوغ بوم‌سامان جنگلی و مرتعی مؤثر می‌باشند.

تعامل‌های دگرآزاری معمولاً بسیار اختصاصی بوده و شامل فقط چند گونه و یا حتی چند رقم خاص گیاهی چه درمورد تولیدکنندگان و چه دریافت‌کننده آن می‌باشد. اثرات مواد شیمیایی دگرآزار بسیار و متنوع می‌باشد. گرچه واژه‌گان دگرآزاری به‌طور بسیار معمول به اثرات منفی اشاره دارد مواد دگرآزار شیمیایی می‌توانند مثبت هم باشند (مانند کشت‌های توام در باغچه ها). گرچه ترکیب شیمیایی این مواد مختلف است، بیشتر مواد دگرآزار دارای ترکیبات نسبتاً ساده فنلی و یا ترکیبات اسیدی آلی بوده که می‌توانند جزء مواد غیرهومیکی به‌حساب آیند. ازآن‌جاکه اکثر این ترکیبات می‌توانند به‌سرعت به‌وسیله‌ی ریزجانداران خاک از بین رفته، و یا مورد آبشویی قرار گرفته و از منطقه‌ی ریشه گیاه خارج گردند اثرات آن‌ها به‌دنبال از بین رفتن منبع تولید آن‌ها کوتاه مدت می‌باشد.



شکل ۱۳-۱۲ اثرات مثبت و منفی دگرآزاری لوبیای بالدار بر تاج خروس بذری. در گلدان سمت چپ(T4) تاج خروس در خاک تازه (بدون لوبیا) کشت شده است. در گلدان وسط(T20) تاج خروس در خاکی که قبلاً در آن لوبیای بالدار عمل آمده بود کشت گردید (اثر مثبت). در گلدان سمت راست T28 تاج خروس در خاک تازه کشت شده امّا هر روز سه بار با آبی که در آن عصاره‌ی ساقه لوبیا قرار داشت آبیاری شد (اثر منفی). معدل وزن خشک تاج خروس برای هر نبات در شکل نشان داده شده است، تمام گلدان‌ها با محلول دارای عناصر غذایی کافی آبیاری شدند.

[1] - Allelochemicals
[2] - Allelopathy
[3] - Johnson grass
[4] - Giant foxtail

۷-۱۲ تأثیر مواد آلی بر خصوصیات خاک و محیط

ماده‌ی آلی خاک در بسیاری از خصوصیات و فرایندهای خاک مؤثر می‌باشد، به‌طوری‌که تشریح کامل آنها خارج از محدوده‌ی مورد نظر این فصل است. در واقع و به‌طور کلی در هر فصل این کتاب به نقش ماده‌ی آلی خاک اشاره شده است. به‌عنوان مقدمه‌ای بر توزیع و مدیریت ماده‌ی آلی در خاک‌ها مفید خواهد بود که شکل(۱۴-۱۲) که بعضی از اثرات مهمتر ماده‌ی آلی را بر خصوصیات خاک و تعامل خاک- محیط خلاصه نموده‌است مورد مطالعه قرارگیرد. معمولاً هر تأثیر منجر به اثر دیگری خواهدشد. بنابراین یک زنجیر، مرکب از مزایای چندگانه با مصرف ماده‌ی آلی در خاک‌ها حاصل می‌شود. برای مثال (با شروع از بخش سمت چپ فوقانی شکل)، اضافه‌کردن خاک‌پوش آلی به سطح خاک سبب تحریک فعالیت کرم خاکی می‌شود که پیامد که ایجاد حفره‌ها و سایر منافذ زیستی می‌شود، که نفوذ آب بیشتر و جلوگیری از بروز رواناب را به‌دنبال دارد، که درنتیجه‌ی آن آلودگی رودخانه‌ها و دریاچه‌ها کاهش می‌یابد.

تأثیر بر خصوصیات فیزیکی خاک: هموس سبب ایجاد رنگ تیره قهوه‌ای تا سیاه در افق‌های سطحی خاک می‌شود. خاکدانه‌سازی و ثبات خاکدانه‌ها به‌ویژه به‌وسیله‌ی بخش غیرهومیک ماده‌ی آلی تقویت می‌گردد. شکل‌پذیری، هم‌چسبی و چسبندگی خاک‌های رسی بر اثر وجود ماده‌ی آلی کاهش یافته، و مدیریت این خاک‌ها آسان می‌گردد. ازآن‌جاکه ماده‌ی آلی هم سبب بالارفتن نفوذپذیری و هم ظرفیت نگهداری آب می‌باشد، نگهداری آب خاک نیز افزایش می‌یابد.

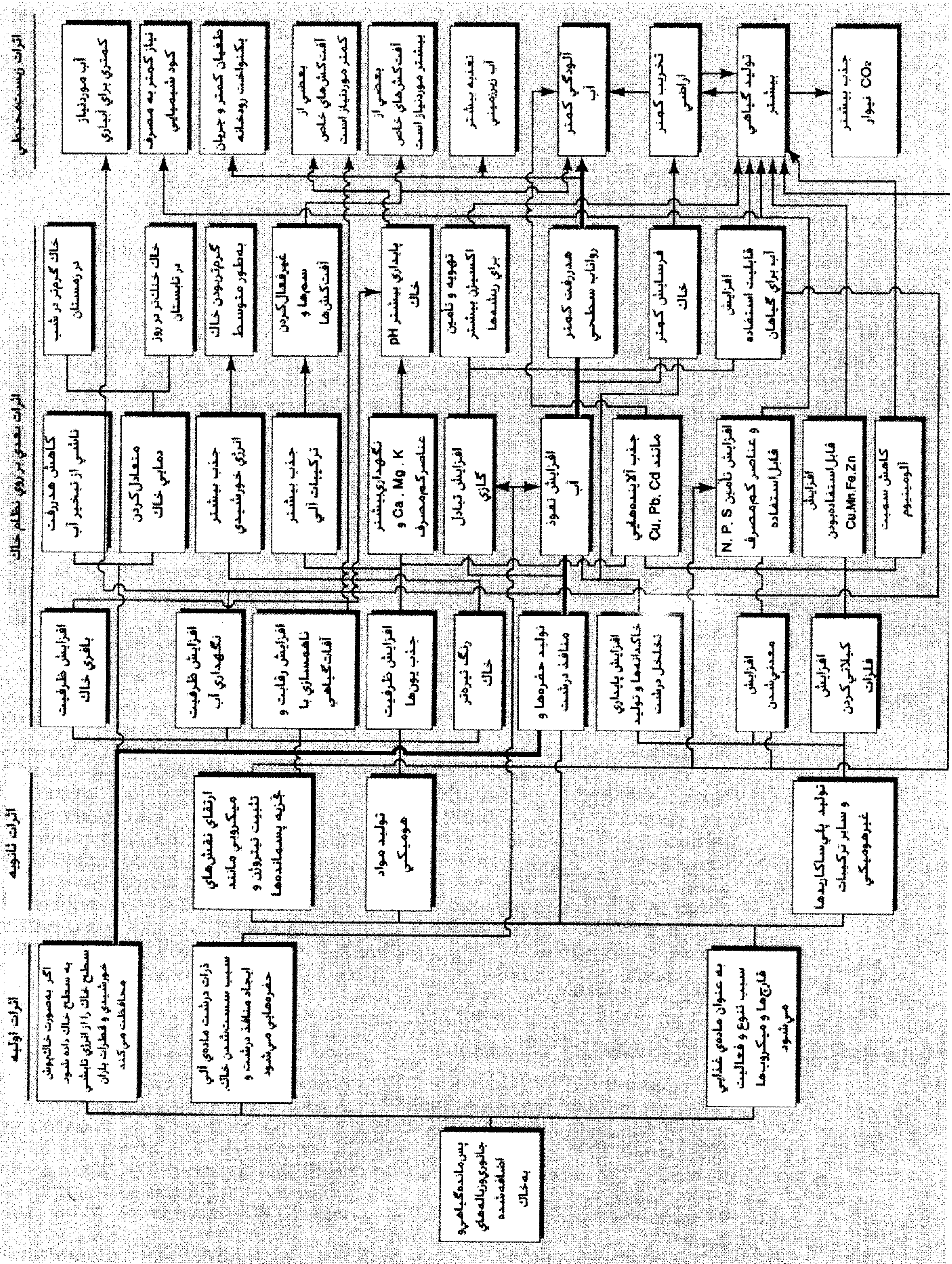
تأثیر بر خصوصیات شیمیایی خاک: ازآن‌جاکه CEC هموس در هر کیلو خاک ۲ تا ۳۰ برابر انواع کانی‌های مختلف رسی می‌باشد معمولاً ۵۰ تا۹۰ درصد توان جذب کاتیونی خاک‌های معدنی را شامل می‌گردد. همانند رس، کلوییدهای هموسی سبب نگهداری کاتیون‌های غذایی (پتاسیم، کلسیم، منیزیم و ...) در اشکال بسیار قابل‌تبادل می‌شود که می‌توانند مورد استفاده نبات قرار گرفته، اما در خاکرخ به آسانی مورد آبشویی قرار نگیرند. ماده‌ی آلی از طریق ظرفیت تبادل کاتیونی و گروه‌های عامل اسیدی و بازی بیشتر ظرفیت بافری را در خاک‌ها فراهم می‌کند، به‌علاوه نیتروژن، فسفر، گوگرد و عناصر کم‌مصرف به‌صورت اجزای ماده‌ی آلی تا آزادشدن آنها طی معدنی‌شدن ذخیره می‌شوند. اسید هومیک به کانی‌های خاک حمله کرده و تجزیه آنها را تسریع می‌کند بنابراین، عناصر غذایی اساسی به‌صورت کاتیون‌های قابل‌تبادل آزاد می‌شوند. اسیدهای آلی، پلی‌ساکاریدها و اسید فولویک همگی می‌توانند کاتیون‌هایی مانند Cu^{2+}, Zn^{2+} Mn^{2+} Fe^{3+}, از لبه ساختمان کانی جدا نموده و آن‌ها را به‌صورت کیلات در آورده و یا آن‌ها را در ترکیبات همتافت آلی- معدنی پایدار قرار دهند. بعضی از این عناصر فلزی چون در شکل محلول و کیلاته نگهداری می‌شوند به‌عنوان عناصر کم‌مصرف برای نباتات بیشتر قابل‌استفاده می‌باشند (فصل ۱۵ را مشاهده کنید). درخاک‌های خیلی اسیدی، ماده‌ی آلی سمّیت آلومینیوم را با در پیوند قراردادن یون‌های آلومینیوم در ترکیبات غیرسمی کاهش می‌دهد (بخش ۲-۹ را مشاهده کنید).

اثرات زیستی: ماده‌ی آلی خاک به مقدار زیادی در زیست‌شناسی خاک تأثیرگذار است، زیرا غذای اصلی جوامع جانداران ناخودپرور خاک را که در فصل ۱۱ مورد تشریح قرار گرفت تأمین می‌کند. در بخش ۳-۱۲ مشخص شد که کیفیت لاشبرگ گیاهی و ماده‌ی آلی خاک به‌طور مشخص در میزان تجزیه، و بنابراین، مقدار تراکم ماده‌ی آلی در خاک مؤثر است.

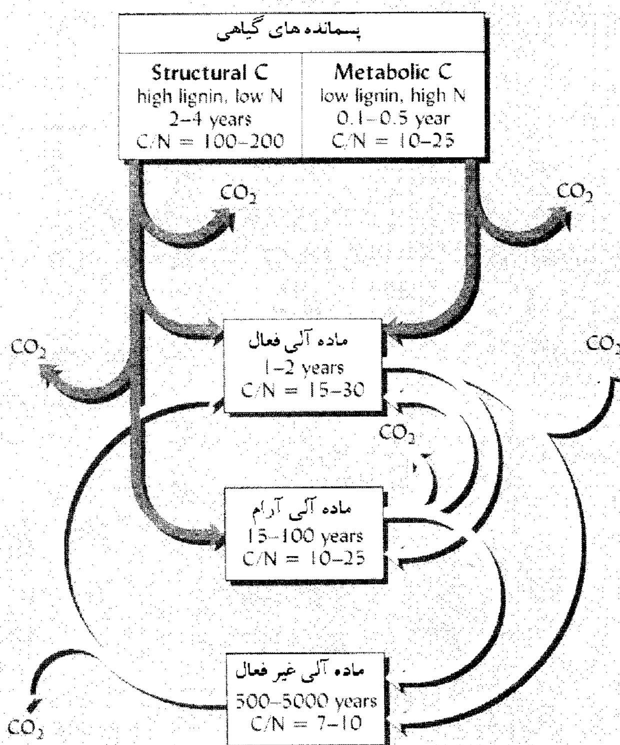
۸-۱۲ مدیریت مقدار و کیفیت ماده‌ی آلی خاک

شاید مفیدترین روش تعریف کیفیت ماده‌ی آلی خاک تشخیص مخازن مختلف کربن آلی است که دارای حساسیت مختلف به سوخت‌وساز میکروبی می‌باشند. مدلی که ۵ نوع از این مخزن‌های کربن را در پس‌مانده‌های گیاهی و ماده‌ی آلی مشخص می‌سازد در شکل ۱۵-۱۲ مشخص شده است، همان‌طورکه در بخش‌های قبل بحث گردید، پس‌مانده‌های گیاهی شامل بعضی از اجزاء (کربن قابل‌سوخت‌وساز) مانند قندها، پروتیین‌ها و نشاسته می‌باشند که به آسانی به‌وسیله‌ی میکروب‌های خاک مورد سوخت‌وساز قرار می‌گیرند. سایر اجزاء (کربن ساختمانی) که عمدتاً در ساختمان و دیوارهای یاخته‌ای گیاهی موجود می‌باشند شامل لگنین، پلی‌فنل‌ها، سلولز و مواد مومی بوده که در مقابل تجزیه مقاوم می‌باشند. مدل شکل ۱۵-۱۲ این گروه‌ها را به ترتیب به‌عنوان مخزن کربن سوخت‌وساز و مخزن کربن ساختمانی در پس‌مانده‌های گیاهی معرفی می‌کند.

مقدار کل ماده‌ی آلی خاک‌ها مجموعه‌ای از مخازن مختلف ماده‌ی آلی تحت اسامی، فعال، آرام و غیرفعال می‌باشد.



شکل ۱۴-۱۲ بعضی از راه‌هایی که ماده‌ی آلی در خصوصیات خاک، توان تولید نبات و کیفیت محیط‌زیست اثر می‌گذارد. بسیاری از اثرات غیرمستقیم هستند. پیکان‌ها بیانگر روابط علل و معلول می‌باشند، به آسانی می‌توان دید که تأثیرات ماده‌ی آلی خاک بسیار بیشتر از مقدار بسیارکوچک آن در اکثر خاک‌هاست. بسیاری از این اثرات در این فصل و دیگر فصل‌های کتاب مورد بحث قرار گرفته است. خطوط پررنگ‌تر بیانگر توالی اثراتی است که در بخش ۷-۱۲ به آن اشاره شده است.



شکل ۱۵-۱۲ یک مدل فرضی که منابع مختلف ماده‌ی آلی را با حساسیت‌های مختلف به سوخت‌وساز میکروبی مشخص کرده است. مدل هایی که بخش‌های فعال، آرام و غیرفعال ماده‌ی آلی خاک را در بر می‌گیرند ثابت کرده‌اند که در توضیح و برآورد تغییرات واقعی در میزان مواد آلی خاک و خصوصیات خاک مربوط به آن‌ها بسیار مفید بوده‌اند. توجه داشته باشید که فعالیت میکروب‌ها می‌تواند کربن آلی را از یک بخش به بخش دیگر انتقال دهد برای نمونه وقتی مواد غیرهومیکی و سایر اجزاء بخش فعال به سرعت تجزیه می‌شوند بعضی از محصولات فرعی مقاوم پیچیده ممکن است تشکیل شوند که به بخش غیرفعال اضافه گردند. توجه داشته باشید تمام این تغییرات سوخت‌وساز سبب هدررفت مقدار زیادی کربن به‌صورت CO_2 می‌باشد.

بخش فعال ماده‌ی آلی

بخش فعال ماده‌ی آلی خاک شامل موادی با نسبت $C/_N$ بالا (نزدیک ۳۰-۱۵) و نیمه‌عمر کوتاه (نصف این مواد در طول چند هفته و یا چند سال می‌تواند مورد سوخت‌وساز میکروبی قرار گیرد) می‌باشد. اجزاء این بخش احتمالاً شامل زیتوده زنده، بعضی از مواد تخریب شده ریز(POM)[1]، اکثر پلی‌ساکاریدها، سایر مواد غیرهومیک و همین‌طور بخشی از اسیدفولولیک قابل‌تجزیه[2] می‌باشد که در بخش ٤-۱۲ مورد توجه قرار گرفت. این بخش فعال اکثر غذای قابل‌دسترسی جانداران خاک، بیشترین نیتروژن قابل‌معدنی‌شدن و اکثر اثرات مفید بر ثبات ساختمانی را شامل می‌باشد که سبب افزایش نفوذ آب، مقاومت به فرسایش و سهولت عملیات خاک‌ورزی می‌شود. بخش فعال می‌تواند با اضافه‌کردن پس‌ماندهای گیاهی و یا جانوری تازه افزایش یابد، امّا با کاهش این بقایا و یا تمرکز عملیات خاک‌ورزی به آسانی نیز از دست می‌رود. این بخش به‌ندرت بیشتر از ۱۰ تا ۲۰ درصد کل ماده‌ی آلی خاک را شامل می‌گردد.

بخش غیرفعال و آرام ماده‌ی آلی خاک

بخش غیرفعال، شامل مواد بسیارپایدار می‌باشد که برای صدها و حتی هزاران سال در خاک باقی می‌مانند. این بخش شامل اکثر هموس نگهداری شده به‌طور فیزیکی به‌وسیله‌ی همتافت رس – هموس، بخش اکثر هومین و بیشتر اسیدهای هومیک که در بخش‌های قبل تشریح گردید می‌باشند. بخش غیرفعال ۹۰– ٦۰ درصد ماده‌ی آلی را در اکثر خاک‌ها شامل می‌شود و مقدار آن به کندی افزایش و یا کاهش می‌یابد. بخش غیرفعال در ارتباط نزدیک با خصوصیات کلوییدی هموس خاک بوده و اکثرCEC و ظرفیت نگهداری آب در ماده‌ی آلی خاک مربوط به آن می‌باشد.

بخشی از ماده‌ی آلی با خصوصیات حد واسط در بین بخش فعال و غیرفعال بخش آرام ماده‌ی آلی خاک است. این بخش احتمالاً شامل اندام‌های گیاهی خیلی ریز دارای لگنین زیاد و یا سایر اجزای با قابلیت تجزیه کند و یا مقاوم شیمیایی می‌باشند. نیمه عمر این مواد دهها سال است. بخش آرام منبع مهمی از نیتروژن قابل‌معدنی‌شدن و سایر عناصر غذایی گیاهان، و منابع غذایی مشخص میکروب‌های بومی را شامل می‌شود. از نظر ایفای نقش بخش آرام احتمالاً عهده‌دار بخشی از اثرات اصلی مربوط به بخش فعال و غیرفعال نیز می‌باشد.

---

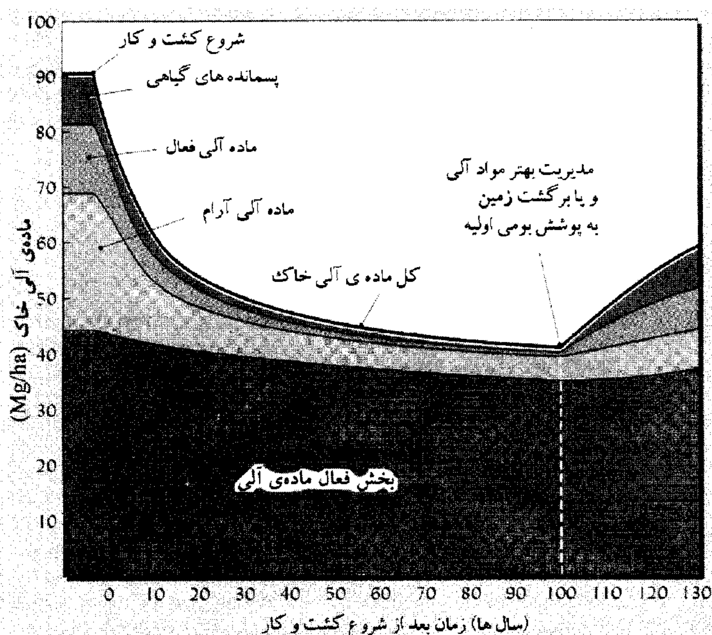
[1] - Particulate Organic Matter
[2] - Labile

تغییرات در بخش‌های فعال و غیرفعال با مدیریت خاک

روش‌های تجزیه خاک تنها می‌تواند بخش‌های فیزیکی و شیمیایی ماده‌ی آلی را که وظایف بخش‌های فعال، آرام و غیرفعال را به‌طور تقریبی برآورد می‌کنند، ارزیابی نمایند. گرچه روش‌های مؤثری برای جداسازی و یا اندازه‌گیری دقیق اجزای فعال، آرام و غیرفعال ماده‌ی آلی خاک در دسترس نیست، دانشمندان به‌طور مرتب مشاهده کرده‌اند که خاک‌هایی با توان تولید بالا که تحت مدیریت خاک‌ورزی حفاظتی قرار دارند دارای نسبت بیشتری از بخش فعال به‌صورت زیتوده میکروبی و قندهای قابل‌اکسیده‌شده می‌باشند(جدول ۱۰-۲۰ را مشاهده کنید).

به‌رغم این مشکلات موجود در تجزیه‌ی ماده‌ی آلی مدل‌هایی که فرض آنها بر وجود این سه مخزن استوار است در توضیح و برآورد تغییرات واقعی در میزان ماده‌ی آلی و خصوصیات خاک وابسته به آنها، مفید بوده‌اند. مطالعات انجام شده درمورد پویایی ماده‌ی آلی ثابت کرده‌اند که بخش‌های مختلف ماده‌ی آلی نقش‌های کاملاً متفاوتی را در مدیریت خاک و چرخه‌ی کربن، ایفا می‌کنند.

حضور منبع مقاوم (ساختمانی[1]) کربن و همین‌طور منبع دارای سهولت تجزیه[2](سوخت‌وساز) در پس‌ماندهای گیاهی چگونگی تجزیه‌ی سریع اولّیه اما روبه‌کندی را هنگام اضافه‌کردن بافت‌های گیاهی به خاک (این شیوه‌های تجزیه در اشکال ۳-۱۲ و ۴-۱۲ تشریح شده‌اند) توضیح می‌دهد. به‌همین نحو وجود یک منبع همتافت مقاوم ماده‌ی آلی خاک (بخش غیرفعال)، و همین‌طور منبع دارای سهولت سوخت‌وساز (بخش فعال) تشریح می‌کنند که چرا کشت وکار در یک خاک بکر سبب کاهش سریع ماده‌ی آلی خاک در سال‌های اولیه، و کاهش بسیار آرام‌تر به‌دنبال آن در سال‌های بعدی خواهد شد(شکل ۱۶-۱۲).



شکل ۱۶-۱۲ تغییرات در بخش‌های مختلف ماده‌ی آلی در ۲۵ سانتی‌متر فوقانی در یک خاک شاخص بعد از به زیر کشت درآوردن خاک بکر. ابتدا در شرایط پوشش طبیعی، این خاک دارای حدود۹۱ تن درهکتار ماده‌ی آلی کل بود. بخش مقاوم غیرفعال دارای حدود ٤٤ تن درهکتار و یا حدود نصف ماده‌ی آلی خاک بوده و بخش دارای سرعت تجزیه سریع یا بخش فعال حدود ١٤ تن درهکتار یا ١٦ درصد ماده‌ی آلی کل را شامل بود. بعد از حدود ٤٠ سال کشت‌وکار، بخش غیرفعال با کاهش ١١ درصد به ٣٩ تن در هکتار رسید، درصورتی‌که بخش فعال ٩٠ درصد خود را ازدست داده و به ١/٤ تن در هکتار کاهش یافت. توجه کنید که بیشتر هدررفت ماده‌ی آلی براثر تغییر مدیریت سبب مصرف بخش فعال گردید و این همان بخشی‌است که با اعمال مدیریت پیشرفته ماده‌ی آلی بعد از ۱۰۰ سال به‌سرعت افزایش یافت. حساسیت بخش فعال به تغییرات سریع مشخص می‌سازد که چرا حتی تغییرات کوچک در کل ماده‌ی آلی می‌تواند تغییرات شدیدی را در خصوصیات مهم خاک مانند ثبات خاکدانه‌ها و معدنی‌شدن نیتروژن که در ارتباط با این بخش است به‌وجود آورد.

عملیات مدیریت خاک که تغییرات بسیار اندکی در ماده‌ی آلی خاک ایجاد می‌کنند، اغلب اثرات برجسته‌ای بر ثبات ساختمانی و معدنی‌شدن نیتروژن و بر روی بعضی از خصوصیات و جنبه‌های مشخص توان تولیدی که وابسته به ماده‌ی آلی است، اعمال می‌کنند. علت آن افزایش و یا کاهش شدید بخش کوچک ماده‌ی آلی فعال خاک بدون هرگونه اثر برجسته‌ای بر منبع بسیار بزرگ کل ماده‌ی آلی می‌باشد. شکل۱۶-۱۲ نشان می‌دهد چگونه بخش‌های مختلف ماده‌ی آلی با تغییر مدیریت (در این مورد کشت‌وکار در یک خاک دست نخورده قبلی) تحت تأثیر قرار می‌گیرند و چگونه آن‌ها به تغییر کلی در میزان ماده‌ی آلی خاک منجر می‌شوند.

[1] - Stractural- C
[2] - Metabolic- C

پس‌ماندهای گیاهی تجمع‌یافته و بخش فعال ماده‌ی آلی نخستین بخش‌هایی هستند که براثر مدیریت اراضی تحت تأثیر قرار گرفته و اکثر هدررفت‌های اولیه در ماده‌ی آلی خاک با آغاز کشت وکار در زمین‌های بکر به آنها مربوط می‌شود. برعکس، هدررفت در بخش غیرفعال بسیار تدریجی است. درنتیجه ماده‌ی آلی باقیمانده بعداز چندسال در ارتقاء پایداری خاکدانه‌ها و چرخه‌ی عناصر غذایی بسیار کمتراز ماده‌ی آلی اصلی در خاک دست‌نخورده مؤثر می‌باشد. اگر تغییر مطلوبی در شرایط محیطی و یا نحوه‌ی مدیریت صورت گیرد لاشبرگ گیاهی و بخش فعال ماده‌ی آلی خاک زودتر از همه به‌طور مثبت تحت تأثیر قرار خواهند گرفت (بخش سمت راست شکل ۱۶-۱۲ را مشاهده کنید).

۹-۱۲ تعادل کربن در نظام خاک - نبات - نیوار

مدیریت درست ماده‌ی آلی چه با هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای باشد و یا ارتقای کیفیت و توان تولید، نیازمند فهم عوامل و فرایندهای مؤثر در چرخه و تعادل کربن در یک بوم‌سامان می‌باشد. گرچه هر نوع بوم‌سامان خاص چه جنگل خزان‌کننده، یک مرغزار و یا مزرعه گندم مسیر و بخش خاصی را در چرخه کربن مورد تأکید قرار خواهند داد، ملاحظه یک مثال خاص مانند آنچه در تابلو۲-۱۲ تشریح شده است می‌تواند در ارائه یک مدل فراگیر که بتواند برای موقعیت خاص مورد استفاده باشد، ما را یاری دهد.

بوم‌سامان کشاورزی

نرخ افزایش و کاهش ماده‌ی آلی خاک به‌وسیله‌ی تعادل بین دست‌آوردها و هدررفت‌های کربن تعیین می‌شود. دست‌آوردها در این بوم‌سامان عمدتاً از پس‌ماندهای گیاهی کشت شده در محل و استفاده از مواد آلی به‌دست می‌آید. هدررفت‌ها عمدتاً در نتیجه تنفس (هدررفتCO_2)، برداشت محصول و فرسایش می‌باشد(جدول ۶-۱۲).

حفاظت کربن خاک: برای توقف هدررفت خالص کربن و یا برعکس نمودن آن، که در شکل ۱۷-۱۲ نشان داده شده است باید آن نوع عملیات مدیریتی به‌کار گرفته شوند که سبب افزایش کربن و یا کاهش هدررفت کربن از خاک گردد. ازآن‌جاکه تمام پس‌ماندهای گیاهی و کود دامی در مثال ۱۷-۱۲ قبلاً به خاک برگردانده شده‌اند، نهاده‌های بیشتر کربن به‌طور بسیار عملی می‌تواند با کشت محصولات بیشتر (افزایش میزان عملکرد، یا کشت گیاهان پوششی زمستانه) حاصل گردد.

عملیات خاص برای کاهش هدررفت کربن شامل مهار بهتر فرسایش خاک و استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی است. استفاده از نظام خاک‌ورزی بدون انجام عملیات شخم و شیار سبب باقی‌گذاشتن پس‌ماندهای گیاهی به‌صورت خاک‌پوش در سطح خاک می‌گردد که بسیار آهسته تجزیه می‌شوند. اجتناب از شخم‌زدن ممکن است سبب کاهش هدررفت سالانه ناشی از تنفس از ۲/۵ درصد اولیه به ۱/۵ درصد گردد. ترکیبی از این تغییرات در مدیریت سبب برگشت نظام تخریب ماده‌ی آلی در مثال (کاهش)، به نظام تجمع ماده‌ی آلی (افزایش) گردد.

بوم‌سامان طبیعی

کسانی که علاقمند به بوم‌سامان طبیعی هستند ممکن است بخواهند که چرخه کربن یک جنگل طبیعی را با یک مزرعه ذرت در شکل ۱۷-۱۲ مقایسه کنند. اگر حاصلخیزی خاک جنگل خیلی پایین نباشد، تولید کل جرم حیاتی سالانه احتمالاً شبیه مزرعه ذرت خواهد بود. از طرف دیگر، چون محصول چوب هر سال برداشت نمی‌شود، زیتوده‌ی سرپا در جنگل در مقایسه با مزرعه ذرت بسیار بالاتر است. گرچه مقادیری برگ به کف جنگل می‌ریزد، بیشترین تولید سالانه زیتوده در درخت باقی می‌ماند.

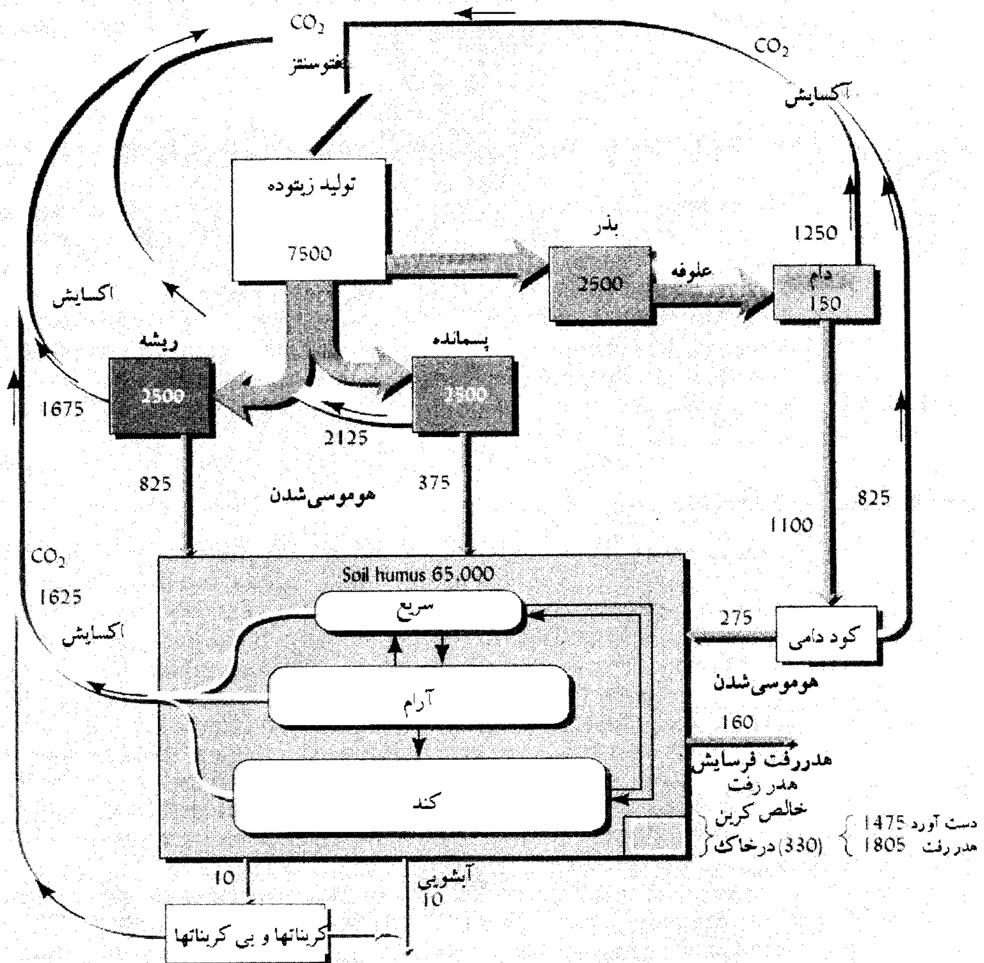
میزان اکسایش هموس در جنگل بکر به‌هم‌نخورده به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کمتر ازمزرعه شخم خورده است، زیرا لاشبرگ جنگلی براثر نبود عملیات خاک‌ورزی در داخل خاک مخلوط نشده و پیامد دست‌نخوردگی فیزیکی، کاهش تنفس است. لاشبرگ گونه‌های درختی خاص ممکن است از نظر مواد فنلی و لگنین غنی بوده که سبب می‌گردند تجزیه‌ی ماده‌ی آلی و هدررفت کربن کاهش یابد(شکل ۸-۱۲). به‌علاوه هدررفت ماده‌ی آلی براثر فرسایش در منطقه جنگلی بسیار کمتراست. با درنظر گرفتن این عوامل امکان اضافه‌شدن خالص سالانه‌ی ماده‌ی آلی در جنگل جوان، و حفظ میزان ماده‌ی آلی بالای خاک در جنگل بالغ، فراهم می‌باشد.

چمن‌زارها: شیوه مشابهی با جنگل در چمن‌زارهای طبیعی وجود دارد، گرچه زیتوده‌ی کل تولیدشده عمدتاً متکی به باران سالانه بوده و به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای درمقایسه با جنگل کمتر است. در بین اصول تشریح شده در تابلو ۲-۱۲، که قابل‌تعمیم در اکثر بوم‌سامان‌ها می‌باشد، نقش غالب زیتوده‌ی ریشه در نگهداری میزان ماده‌ی آلی خاک می‌باشد. در چمن‌زارها نقش ریشه گیاهان از نقش آن‌ها در جنگل مهم‌تر است و بنابراین بخش بزرگی از زیتوده‌ی تولید شده به‌صورت ماده‌ی آلی خاک تمرکز می‌یابد، و این کربن آلی به‌طور یکنواخت‌تری در عمق خاک توزیع یافته است.

تابلو ۲-۱۲ تعادل کربن – نمونهای از یک بومسامان کشاورزی

منبع اصلی کربن و جریان سالانهی آن در یک بومسامان زمینی در شکل ۱۷-۱۲ با استفاده از پیشفرض یک مزرعهی ذرت در منطقه گرم و معتدل تشریح شده است. در طول فصل رشد، نبات ذرت ۱۷۵۰۰ کیلوگرم مادهی خشک در هکتار بهوسیلهی سوختوساز نوری تولید میکند که شامل ۷۵۰۰ کیلوگرم کربن میباشد. این کربن بهطور یکنواخت در بین ریشه، دانه و پسماندهای برداشتشده محصول در سطح زمین (هرکدام ۲۵۰۰ کیلوگرم) توزیع شده است. در این مثال دانه برداشتشده برای تغذیه گاو مصرف میشود که باعث میگردد ۱۲۵۰ کیلوگرم آن اکسید شده و بهصورت CO_2 آزاد شود و بخش کوچکی برای افزایش وزن دام جذب و بقیه (۱۱۰۰کیلوگرم) بهصورت کود دامی دفع گردد. ساقه و ریشهی ذرت باقیمانده در مزرعه همراه با کود دامی در داخل خاک براثر خاکورزی و یا کرمهای خاکی مخلوط میشود.

میکروبهای خاک پسماندهای گیاهی (از جمله ریشه ها) و کود دامی را تجزیه نموده و ۷۵ درصد کربن کود و۶۷ درصد کربن ریشه باقیمانده و۸۵ درصد کربن پسماندهای سطحی را بهصورت CO_2 آزاد میکنند. کربن باقیمانده این منابع در هضم مجدد برای ایجاد هموس خاک مصرف میشود بنابراین، در طول یکسال ۱۴۷۵ کیلوگرم کربن داخل مخزن هموس میگردد. (۸۲۵ کیلوگرم از ریشه، به اضافه ۳۷۵ کیلوگرم از ساقه ذرت و۲۷۵ کیلوگرم از کود دامی) این مقادیر با ارقام شکل۱۰-۱۲ همخوانی دارند. اما این ارقام در بین شرایط مختلف خاک و بومسامانها بهطور گسترده متغیر میباشد.



شکل ۱۷-۱۲ چرخه کربن در یک بومسامان کشاورزی

در ابتدای سال ۳۰ سانتی‌متر فوقانی خاک در مثال فوق دارای ۶۵۰۰۰ کیلوگرم درهکتار کربن آلی در هموس می‌باشد. این خاک برای کشت نباتات ردیفی به‌طور مشخص ۲/۵درصد ماده‌ی آلی خود را براثر تنفس خاک از دست می‌دهد. در مثال، این هدررفت معادل ۱۶۲۵کیلوگرم کربن در هکتار می‌باشد. هدررفت مشابه کربن آلی خاک به‌مقدار کمتر به‌صورت فرسایش خاک (۱۶۰ کیلو در هکتار)، آبشویی خاکرخ (۱۰ کیلوگرم در هکتار) و تشکیل کربنات‌ها و بی‌کربنات‌ها (۱۰کیلوگرم در هکتار) صورت می‌گیرد.

در مقایسه هدررفت کل (۱۸۰۵کیلوگرم) با دست‌آورد کل(۱۴۷۵کیلوگرم) در مخزن هموس خاک، مشاهده می‌کنیم که خاک در مثال ما دارای خالص هدررفت۳۳۰ کیلوگرم کربن در هکتار در سال می‌باشد (۰/۵ درصد کل هموس ذخیره شده). اگر این مقدار هدررفت ادامه یابد تخریب کیفیت خاک و توان تولید مطمئناً حاصل خواهد شد.

جدول ۶-۱۲ عوامل مؤثر در تعادل بین دست‌آورد و هدررفت کربن آلی خاک‌ها

عوامل مؤثر در ارتقای دست‌آورد	عوامل مؤثر در افزایش هدررفت
کود سبز و یا گیاهان پوششی	فرسایش
خاک‌ورزی حفاظتی	کشت وکار پر نهاده
برگشت پس‌ماندهای گیاهی به خاک	برداشت کل نبات و محصول
دمای پایین و سایه اندازی	دمای بالا و در معرض نور قرار گرفتن
چرای تحت نظارت	چرای بیش از حد
رطوبت زیاد خاک	رطوبت اندک خاک
خاک‌پوش سطحی	آتش
استفاده از کمپوست و کود دامی	فقط استفاده از مواد معدنی
سطوح مناسب نیتروژن	نیتروژن معدنی فراوان
توان تولید بالای محصول	توان تولید اندک محصول
نسبت بالای ریشه به ساقه‌ی نبات	نسبت پایین ریشه به ساقه‌ی نبات

۱۰-۱۲ عوامل و عملیات مؤثر در میزان ماده‌ی آلی خاک

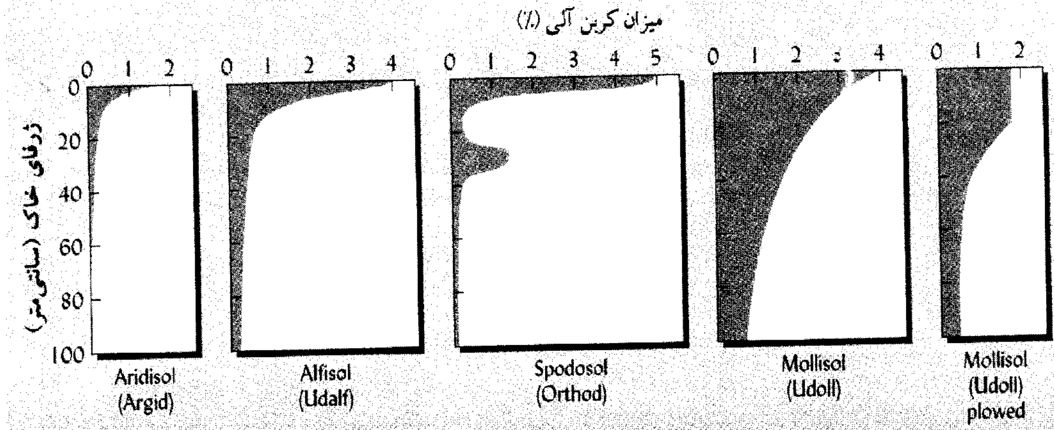
میزان ماده‌ی آلی در خاک‌ها درحد بسیار زیادی متغیر می‌باشد. در خاک‌های سطحی معدنی مقدار آنها از یک مقدار جزیی (خاک‌های شنی و خاک‌های بیابانی) تا به مقدار زیاد در حد ۲۰ تا ۳۰ درصد (افق A در بعضی خاک‌های جنگلی) متفاوت است. بعضی خاک‌ها دارای ماده‌ی آلی بیشتری می‌باشند امّا آن‌ها اغلب خاک‌های آلی هستند که در بخش۱۲-۱۲ مورد تشریح قرار خواهند گرفت. در عمل، میزان ماده‌ی آلی خاک معمولاً از روی میزان کربن آلی برآورد می‌شود، زیرا کربن آلی می‌تواند با دقت بیشتری تعیین گردد. بنابراین، در مباحث فنی معمولاً به کربن آلی استناد می‌کنیم. دامنه‌ی تغییرات و میزان کربن آلی درنمونه‌های معرف رده‌های مختلف خاک در جدول۱-۱۲ ارائه شده است.

تفاوت کربن آلی در بین رده‌های خاک

گرچه میزان ماده‌ی آلی در داخل یک رده خاک حتی ممکن است تا ۱۰ برابر تغییر کند، می‌توان به چند جمع‌بندی کلی در میزان ماده‌ی آلی انواع خاک‌های مختلف مبادرت نمود. اریدی‌سول (خاک‌های مناطق خشک) دارای کمترین مقدار کربن آلی و هیستوسول‌ها (خاک‌های آلی) دارای بیشترین مقدار می‌باشند (تابلوهای رنگی ۳ و ۶ را مقایسه کنید). برخلاف پندار مشهور، خاک‌های جنگلی در مناطق مرطوب گرمسیری(اکسی‌سول‌ها و التی‌سول ها) دارای میزان کربن مشابهی با خاک‌های مناطق مرطوب معتدل(التی‌سول‌ها و اسپدوسول‌ها) می‌باشند. خاک‌های اندی‌سول (خاکسترهای آتشفشانی) معمولاً دارای بالاترین میزان‌های کربن آلی در بین خاک‌های معدنی هستند، احتمالاً همراهی ماده‌ی آلی با رس آلوفان در این خاک‌ها کربن آلی را از اکسایش محفوظ میدارد (تابلو رنگی ۲ را مشاهده کنید). در بین خاک‌های زیر کشت در مناطق مرطوب و نیمه‌مرطوب خاک‌های مولی‌سول (خاک‌های مرغزارها) به‌خاطر لایه‌ی سطحی غنی از کربن آلی تیره‌رنگ مشهورند (تابلو رنگی ۸ را مشاهده کنید).

میزان کربن آلی افق‌های تحت‌الارض معمولاً بسیار کمتر از خاک‌های سطحی است (شکل ۱۸-۱۲). ازآن‌جاکه بخش اعظم پس‌ماندهای آلی در هر دو خاک تحت کشت و بکر یا در داخل خاک سطحی مخلوط شده و یا بر روی آن تجمع یافته است، ماده‌ی آلی در لایه‌های

فوقانی تمرکز می‌یابد.همچنین باید توجه داشت که میزان کربن چمن‌زارها با شدت کمتری در عمق درمقایسه با خاک اراضی جنگلی کاهش می‌یابد، زیرا بیشتر پس‌ماندهای گیاهی اضافه شده در چمن‌زارها شامل ریشه‌های افشان انتشار یافته در سرتاسر خاکرخ می‌باشد



شکل ۱۸-۱۲ توزیع عمودی کربن آلی در خاک‌های دارای زه‌کشی مناسب چهار راسته‌ی خاک، به‌میزان بالاتر و عمیق‌تر کربن آلی در خاک‌هایی که تحت پوشش چمن‌زارها تشکیل شده‌اند (مولی‌سول ها) درمقایسه با الفی‌سول‌ها و اسپدوسول‌ها، که در زیر جنگل تشکیل شده‌اند، توجه کنید همچنین به برآمدگی میزان کربن آلی در خاک تحت‌الارض اسپدوسول، به‌خاطر هموس آبشویی شده در افق اسپودیک توجه کنید (فصل ۳ را مشاهده کنید). خاک‌های اریدی‌سول دارای میزان بسیار اندک کربن در خاکرخ می‌باشند، که شاخص خاک‌های مناطق خشک است.

تعادل بین دست‌آورد و هدررفت کربن

همان‌طورکه در بخش‌های قبل مشخص گردید، میزان تراکم ماده‌ی آلی در خاک‌ها به‌وسیله‌ی تعادل بین تجمع و هدررفت کربن آلی تعیین می‌شود. تجمع اصولاً تحت اداره‌ی مقدار و نوع پس‌ماندهای گیاهی و جانوری اضافه شده به خاک در هر سال می‌باشد، درحالی‌که هدررفت درنتیجه اکسایش ماده‌ی آلی موجود خاک، و همچنین فرسایش می‌باشد. حال عوامل متعددی را که در نرخ تجمع و یا هدررفت مؤثرند مورد ملاحظه قرار خواهیم داد (جدول ۶-۱۲ را برای بررسی بعضی عوامل ناشی از مدیریت مشاهده کنید).

تأثیر اقلیم

شرایط اقلیمی، به‌خصوص دما و بارندگی تأثیر بارزی بر مقدار کربن آلی و نیتروژن موجود در خاک اعمال می‌کنند (بحث کلاسیک ینی ۱۹۴۱ را در مورد این تأثیر مطالعه کنید).

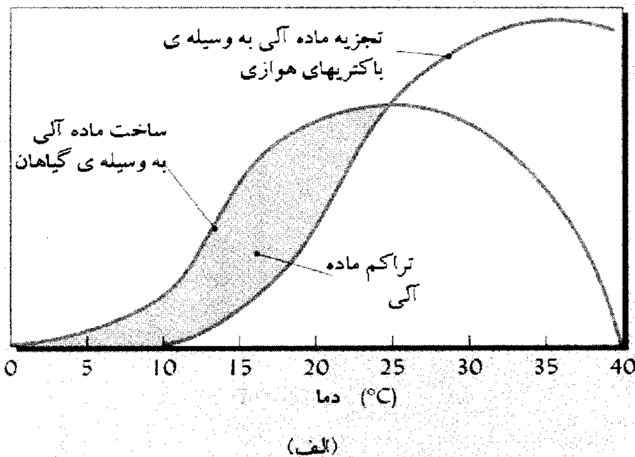
دما: اثر دما ناشی از حالت‌های مختلفی است که در آن فرایندهای تولید ماده‌ی آلی (رشد گیاهی) و نابودی ماده‌ی آلی (تجزیه‌ی میکروبی) به این متغیر اقلیمی عکس‌العمل نشان می‌دهند. شکل ۱۹-۱۲-الف نشان می‌دهد که در دماهای پایین رشد گیاه از تجزیه پیشی می‌گیرد، امّا عکس آن در بالاتر از ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد صادق است. در خاک‌های گرم آزادشدن عناصر غذایی سرعت گرفته امّا تجمع مواد آلی باقیمانده کندتر از خاک‌های سرد است. بنابراین، با حرکت از اقلیم گرم‌تر به اقلیم سردتر ماده‌ی آلی و میزان نیتروژن همراه آن در خاک‌های قابل‌مقایسه افزایش خواهد یافت. بعضی از سریع‌ترین میزان‌های تجزیه‌ی ماده‌ی آلی در خاک‌های تحت آبیاری در بیابان‌های گرم صورت می‌گیرد.

در محدوده‌های دارای شرایط رطوبتی و پوشش گیاهی یکسان، میانگین ماده‌ی آلی و نیتروژن خاک‌ها به ازاء هر ۱۰ درجه کاهش میانگین دمای سالانه ۳-۲ برابر افزایش می‌یابد. این تأثیر دما را می‌توان با توجه به تیره‌تر شدن رنگ خاک‌های سطحی دارای زه‌کشی خوب با مسافرت از جنوب(لوییزیانا) به شمال (مینه سوتا) در علف‌زارهای مرطوب شمال امریکا در منطقه‌ی دشت‌های بزرگ[1] مشاهده کرد. تغییرات مشابهی نیز در میزان ماده‌ی آلی با بالارفتن از اراضی پست گرم به مناطق مرتفع کوهستانی آشکار است.

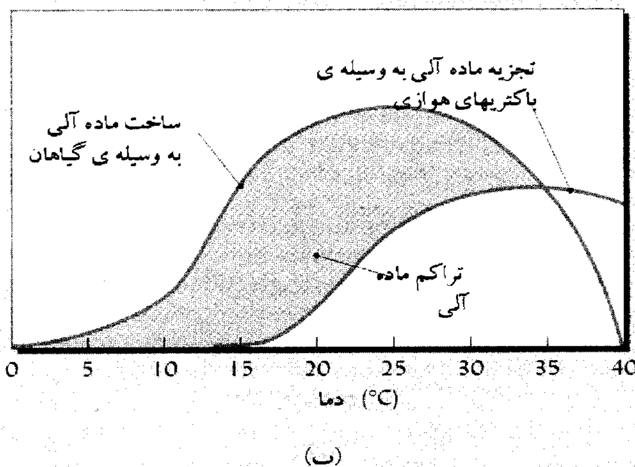
رطوبت خاک: رطوبت خاک نیز تأثیر عمده‌ای بر تراکم ماده‌ی آلی و نیتروژن درخاک‌ها دارد. در شرایط مشابه، میزان نیتروژن و ماده‌ی آلی خاک‌ها با افزایش رطوبت مؤثر افزایش می‌یابد، و همزمان با آن نسبت C/N تمایل دارد که در خاک‌های کاملاً آبشویی شده مناطق پرباران افزایش یابد. این روابط با مشاهده‌ی افق‌های ضخیم‌تر و تیره‌تر هنگام عبور از عرض منطقه‌ی دشت‌های بزرگ آمریکای شمالی در

[1] - Great Plains

یک محدوده با دمای متوسط سالانه یکسان از مناطق خشک‌تر در غرب (کلرادو) تا مناطق با بارندگی بیشتر در شرق (میسوری و ایلی‌نوی) روشن می‌گردد (شکل ۲۰-۱۲). توضیح این مطلب در پوشش بسیار پراکنده مناطق خشک نهفته است. در تعیین این همبستگی باران باید به‌خاطر داشت که میزان ماده‌ی آلی در هر خاک تحت تأثیر هم دما و هم بارندگی و همین‌طور سایر عوامل می‌باشد.کمترین میزان ماده‌ی آلی خاک و بزرگ‌ترین مشکل در نگهداری این میزان در مناطقی یافت می‌شود که میانگین دمای سالانه بالا و بارندگی پایین است (شکل ۲۰-۱۲). این روابط از نظر توان تولید و حفاظت خاک‌ها و مشکلات نسبی در مدیریت پایدار منابع طبیعی فوق‌العاده مهم می‌باشند.



(الف)



(ب)

شکل۱۹-۱۲ تعادل بین تولید ماده‌ی آلی به‌وسیله‌ی نباتات و تجزیه‌ی میکروبی آن، مشخص‌کننده‌ی تأثیر دما بر تجمع ماده‌ی آلی در خاک‌ها می‌باشد. بخش هاشورخورده بیانگر تراکم ماده‌ی آلی تحت شرایط هوازی(الف) و غیرهوازی(ب) می‌باشد. ماده‌ی آلی خاک در اقالیم سرد، به‌خصوص در خاک‌های ماندابی غیرهوازی در مقادیری زیاد تراکم می‌یابند، توجه داشته باشید که تراکم حاصل از شرایط غیرهوازی در اکثر دماها بیشتر بوده و تا دماهای بالاتر نیز در مقایسه با شرایط هوازی تداوم دارد. این امر تشریح می‌کند که چرا مناطق شبه گرمسیری فلوریدا می‌توانند هم دارای خاک‌های آلی(اراضی باتلاقی)، و هم دارای خاک‌های حاوی ماده‌ی آلی اندک (در بخش‌های از ایالت دارای زه‌کشی بهتر) باشند.

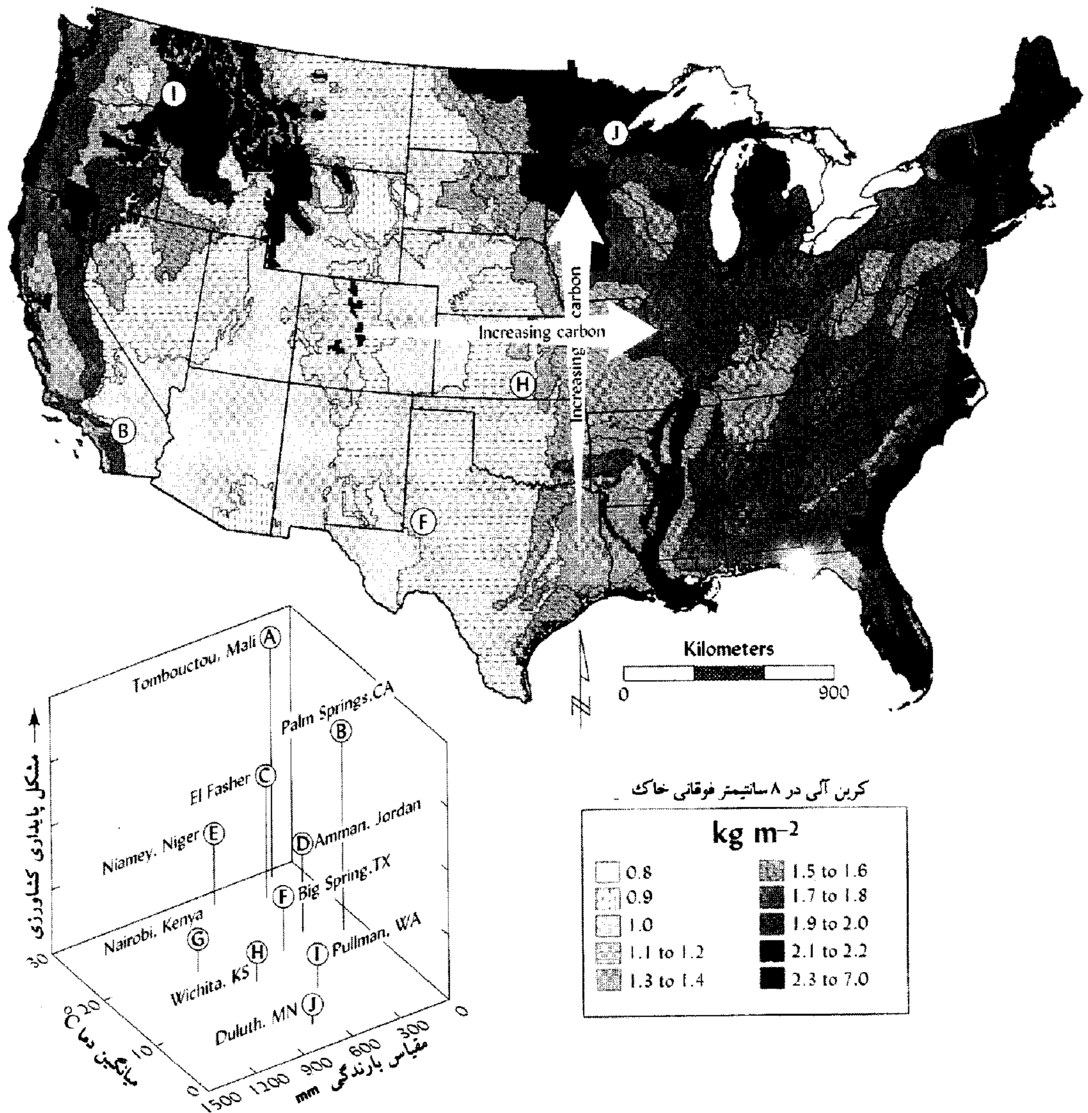
تأثیر پوشش طبیعی

اقلیم و پوشش گیاهی معمولاً با هم بر میزان کربن آلی و نیتروژن خاک‌ها تأثیرگذار می‌باشند. تولید بیشتر محصولات گیاهی در یک محیط دارای آب کافی معمولاً سبب تجمع بیشتر ماده‌ی آلی در خاک می‌شود. علف‌زارها معمولاً در مناطق نیمه‌مرطوب و نیمه‌خشک غالب می‌باشند، درحالی‌که درختان درمناطق مرطوب برتری یافته‌اند. در اقلیم‌هایی که پوشش طبیعی شامل درختان و علف‌زارهاست، کل ماده‌ی آلی تولید شده درخاک‌های تکامل یافته در علف‌زارها از جنگل‌ها بیشتر است(شکل۱۸-۱۲). در اراضی با پوشش مرتعی بخش نسبتاً بزرگی از پس‌ماندهای گیاهی شامل بقایای ریشه می‌باشد که به کندی تجزیه شده و در ایجاد هموس بسیار مؤثرتر از لاشبرگ جنگلی است.

اثر بافت و زه‌کشی

درحالی‌که اقلیم و پوشش طبیعی در گستره‌های وسیع جغرافیایی بر روی میزان ماده‌ی آلی خاک مؤثرند، زه‌کشی و بافت خاک مسوول تفاوت‌های چشم‌گیر در ماده‌ی آلی در چشم‌اندازهای محلی می‌باشند. در یکسان‌بودن دیگر شرایط، خاک‌های دارای رس و لای بیشتر معمولاً دارای ماده‌ی آلی زیادتری ازخاک‌های شنی می‌باشند (شکل ۲۱-۱۲ را مشاهده کنید). مقدار پس‌ماندهای آلی برگشت داده شده به

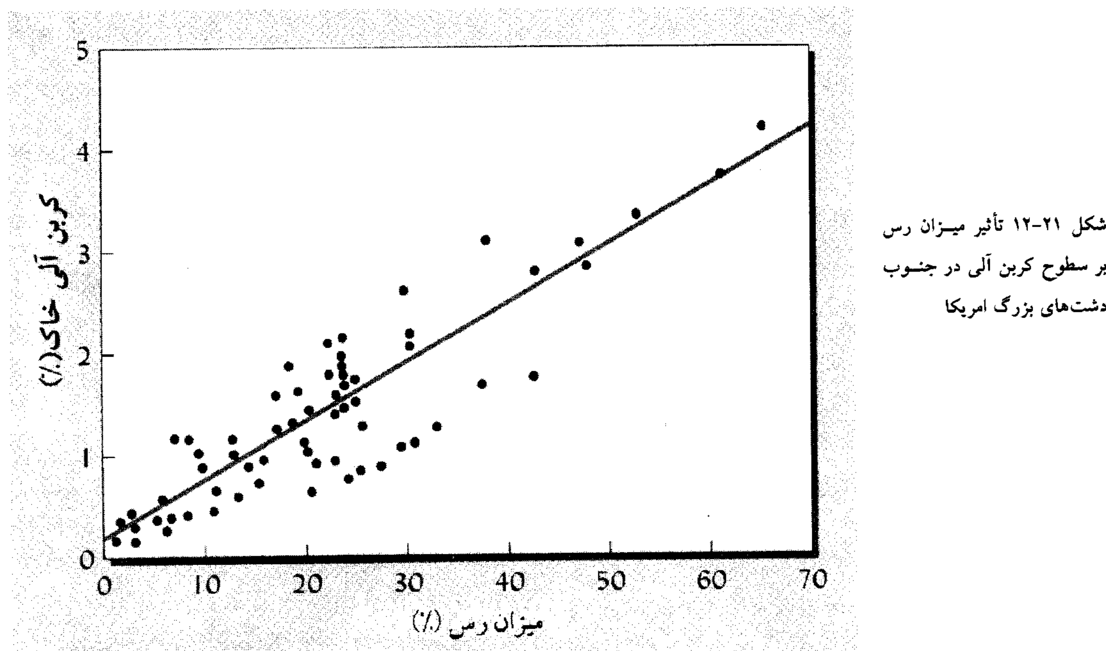
خاک در خاک‌های بافت ریز معمولاً زیادتر است زیرا ظرفیت بالای نگهداری آب و عناصر غذایی در این خاک‌ها تولید و رشد نبات را افزایش می‌دهد. در ضمن ممکن است حفره‌های معمولاً کوچک‌تر خاک‌های بافت ریز مانع تهویه خاک و کاهش اکسایش ماده‌ی آلی گردد. عامل دیگری که برای تجمع بیشتر ماده‌ی آلی در خاک‌های بافت ریز مناسب است تشکیل همتافت‌های رس- هموس می‌باشد که ماده‌ی آلی را از تخریب محافظت می‌کند (بخش ۴-۱۲ را مشاهده کنید).



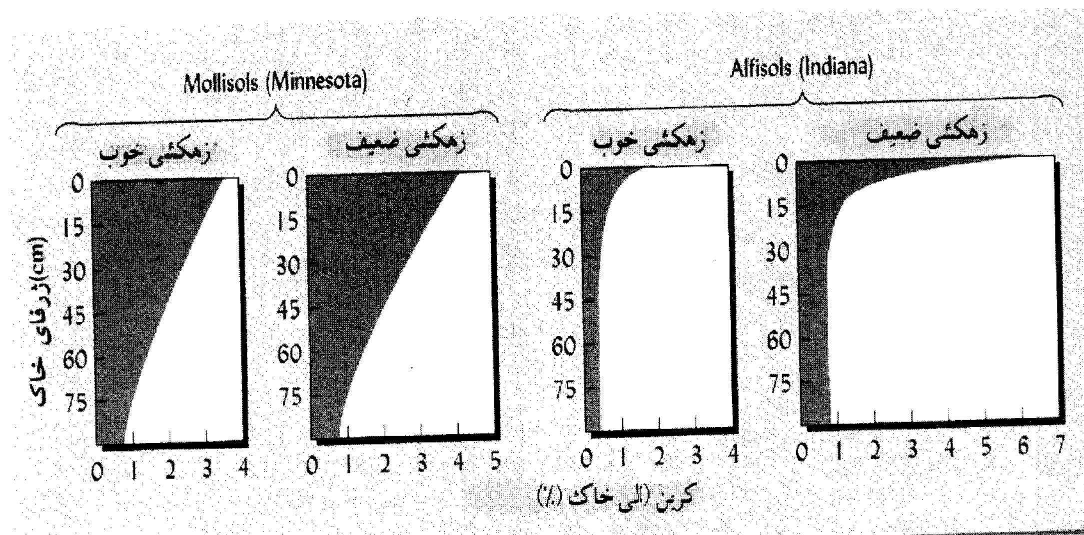
شکل ۲۰-۱۲ تأثیر میانگین دما و بارندگی سالانه بر میزان ماده‌ی آلی و مشکلات حفظ توان تولید منابع خاک. پیکان‌های سفید بزرگ بر روی نقشه نشان‌دهنده‌ی منطقه‌ی دشت‌های بزرگ امریکاست. ماده‌ی آلی با خنک‌تر شدن دما به‌طرف شمال و با بارندگی بیشتر به‌طرف شرق به شرط یکسان‌بودن بافت خاک و پوشش گیاهی، زه‌کشی و تمام دیگر جنبه‌ها (به‌استثنای دما و بارندگی)، افزایش می‌یابد. این شیوه را نیز می‌توان در قلمرو کره‌ی زمین تعمیم داد. بارندگی و دما به‌خاطر اثر آن‌ها در میزان رشد و اکسایش ماده‌ی آلی، مشکلاتی را در جلوگیری از فرسایش خاک و ارائه نظام‌های پایدار کشاورزی در اقالیم مختلف آب‌وهوایی جهان مطرح می‌کنند. توجه کنید چند محل که در تصویر پایین سمت چپ نشان داده شده‌اند، در نقشه نیزآمده‌اند.

اثرات زه‌کشی: در خاک‌ها با زه‌کشی ضعیف میزان رطوبت بالا سبب افزایش میزان تولید ماده‌ی خشک گشته و تهویه نسبتاً ضعیف تجزیه‌ی ماده‌ی آلی را محدود می‌کند (شکل ۱۹- ۱۲ الف). در خاک‌هایی با زه‌کشی ضعیف معمولاً ماده‌ی آلی و نیتروژن بیشتری نسبت به خاک‌های مشابه اما دارای تهویه بهتر تجمع می‌یابد (شکل ۲۲-۱۲ را مشاهده کنید). برای مثال خاک‌های قرار گرفته در کنار نهرها اغلب دارای ماده‌ی آلی نسبتاً زیادی می‌باشند. بخشی از علّت آن زه‌کشی ناقص آن‌ها است. در محیط‌هایی با زه‌کشی خیلی ناقص، مقدار ماده‌ی آلی

به اندازه‌ی کافی برای تشکیل خاک‌های هیستوسول تجمع می‌یابد. چنان‌چه شرایط ماندابی طبیعی هیستوسول‌ها با نصب شبکه‌ی زه‌کش مصنوعی تغییر یابد، تأمین اکسیژن کافی باعث می‌شود که بیشتر ماده‌ی آلی تجمع‌یافته در این خاک ناپدید گردد (فصل ۱۲-۱۲ را مشاهده کنید).



شکل ۲۱-۱۲ تأثیر میزان رس بر سطوح کربن آلی در جنوب دشت‌های بزرگ امریکا



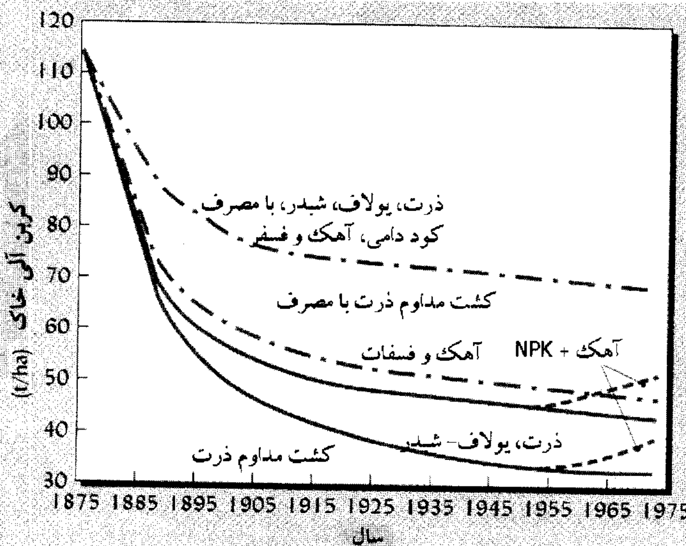
شکل ۲۲-۱۲ توزیع کربن آلی در چهار خاکرخ. دو خاکرخ با زه‌کشی خوب و دو خاکرخ با زه‌کشی ضعیف. زه‌کشی ناقص سبب ایجاد ماده‌ی آلی بیشتری به‌خصوص در افق‌های سطحی گردید.

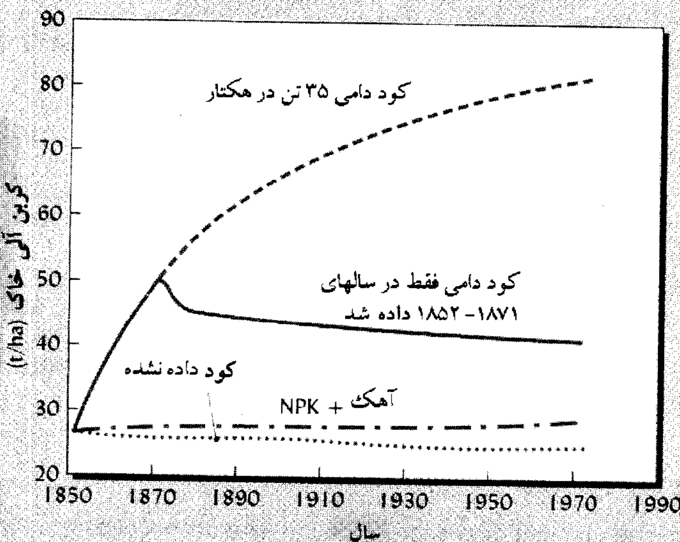
تأثیر مدیریت کشاورزی و خاک‌ورزی

شرط احتیاط این است که، جمع‌بندی کنیم که خاک‌های زراعی هم دارای نیتروژن و هم ماده‌ی آلی پایین‌تری از خاک‌های مشابه بکر می‌باشند. این امر تعجب‌آور نیست، چه، تحت شرایط طبیعی تمام ماده‌ی آلی تولید شده به‌وسیله‌ی پوشش گیاهی به خاک برگردانده شده و خاک به‌وسیله‌ی شخم زیر و رو نمی‌شود. برعکس، در مناطق زراعی بیشتر مواد گیاهی برای غذای انسان و دام از زمین برداشت شده و مقدار کمی از آن مجدداً راه خود را به‌داخل خاک باز می‌یابند. به‌علاوه خاک‌ورزی سبب تهویه خاک و خرد شدن پس‌ماندهای گیاهی و در دسترس قرار دادن آن‌ها برای تجزیه میکروبی می‌گردد.

تبدیل پوشش طبیعی به اراضی زراعی: وقتی خاک بکر به زیر کشت آورده میشود، کاهش بسیار سریعی در میزان مادهی آلی آن صورت میگیرد. نهایتاً، تجمع و هدررفت مادهی آلی به تعادل جدید رسیده و میزان مادهی آلی خاک به سطح پایینتری تنزل پیدا خواهد کرد. این شیوهی کاهش مادهی آلی در شکل۲۳-۱۲ الف، که تغییرات مادهی آلی یک خاک چمنزار را در اولین قرن بعد از بهزیر شخم در آوردن و اعمال نظامهای مختلف کشتوکار، نشان میدهد تشریح گردیده است.کاهش مشابهی در مادهی آلی، وقتی یک جنگل بارانی گرمسیری ریشهکن میشود مشاهده میگردد؛ هرچند هدررفت ممکن است بهخاطر دمای بالا حتی سریعتر باشد. هدررفت مادهی آلی در صورت تبدیل جنگلها و یا علفزارها به تولید علوفه و مرتع چندان شدید نخواهد بود.

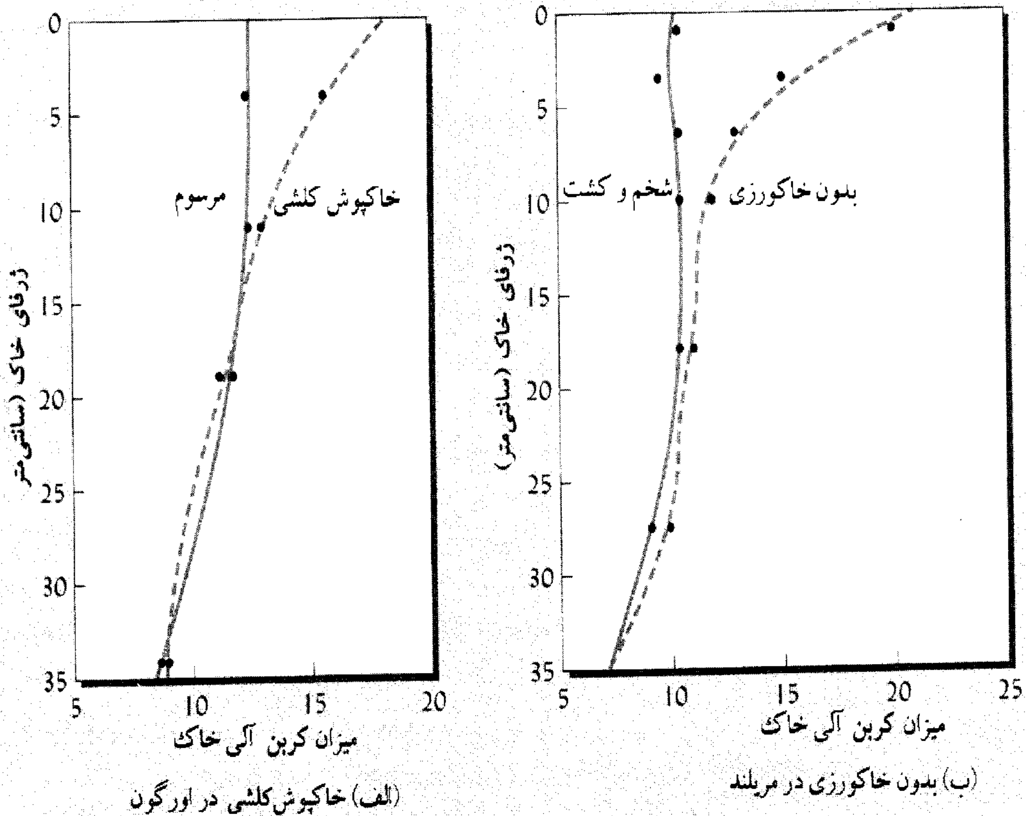
عملیات نوین خاکورزی حفاظتی نگهداری میزان بالای مادهی آلی خاک سطحی میشود (شکل ۲۴-۱۲ را مشاهده کنید). درمقایسه با خاکورزی مرسوم، عملیاتی مانند خاکپوش کاه و کلش، خاکورزی بدون هر نوع عملیات شخم وشیار[1]، سبب باقیماندن بخش زیادی از پسماندها در نزدیکی سطح خاک میشود. این فناوری خاک را از فرسایش مصون داشته و تجزیهی پسماندهای گیاهی را محدود میکند.





شکل ۲۳-۱۲ میزان کربن آلی تیمارهای مختلف (الف)کرتهای مارو در دانشگاه ایلینوی، (ب) آزمایشهای کلاسیک در ایستگاه آزمایشی روتام استید انگلستان. کشت کرتهای مارو در خاکهای علفزار بکر از سال ۱۸۷٦ شروع گردید و در معرض کاهش سریع کربن آلی در سالهای اول آزمایش قرار گرفت. کرتهای روتام استید در خاکهایی که سابقهی کشت طولانی قبلی داشتند استقرار یافت. در نتیجه خاک در ایستگاه رتام استید به تعادلی از کربن آلی رسید که مشخصهی زراعتهای غلات دانهریز (گندم و جو) کود نخورده با کشت سنتی مرسوم درمنطقه میباشد. بنابراین، تغییرات اندکی در میزان مادهی آلی خاک در کرتهای که در آنها این تیمار بهتنهایی تداوم داشت، صورت گرفت. توجه داشته باشید که در هر دو منطقه وقتی عملیات مصرف کود شیمیایی و یا کود دامی اعمال گردید، تغییرات قابلملاحظهای در کربن آلی فقط طی چند دهه مشاهده گردید. برای مثال وقتی آهک و کود شیمیایی به نصف مزرعهی شاهد در کرتهای مارو بعد از ۱۹۵۵ اضافه شد. این افزایش آهک و کود شیمیایی سبب برعکس شدن شیوهی کاهش مادهی آلی خاک (خطوط بریده را مشاهده کنید) گردید.

[1] - No-tillage



شکل ۲۴-۱۲ تأثیر دو نظام خاک‌ورزی حفاظتی[1] بر میزان کربن آلی خاک. مقایسه نظام خاک‌پوش کلشی با خاک‌ورزی تمیز[2] در مولی‌سول‌ها (هاپلوزرول معمولی) بعد از ٤٤ سال که این عملیات برای زراعت گندم دیم در منطقه‌ی نیمه‌خشک اورگن انجام گرفت (اطلاعات از راسموسن ورود ۱۹۸۸). مقایسه نظام خاک‌ورزی بدون شخم و شیار با خاک‌ورزی مرسوم بعد از ۸ سال کشت ذرت بر روی یک خاک التی‌سول(تیپیک هاپلوادولت) در دشت‌های ساحلی منطقه مرطوب مریلند. هردوروش شخم‌وشیار حفاظتی سبب باقی‌ماندن بخش بیشتر پس‌ماندها در سطح ویا نزدیکی سطح خاک گردیدند. نظام خاک‌ورزی فاقد عملیات نیز سبب باقی ماندن بقایا بدون به‌هم‌زدن آن‌ها گردید.درهردو مورد بیشترین افزایش در ماده‌ی آلی در نزدیکی سطح خاک انجام گرفت.

تأثیر تناوب‌ها، پس‌ماندهای گیاهی و عناصر غذایی

شکل ۲۳-۱۲ نشان‌دهنده‌ی تغییرات در میزان ماده‌ی آلی خاک در کرت‌های آزمایش‌های طولانی مدت حاصلخیزی خاک، کرت‌های مارو دانشگاه ایلی‌نوی و آزمایش‌های کلاسیک مزرعه‌ای در روتام ایستید انگلستان می‌باشد. توالی کشت‌های مختلف با تیمارهای مصرف کود دامی، آهک و کود شیمیایی به ترتیب در سال‌های ۱۸۷٦، ۱۸۵۲ آغاز گردید. با توجه به اطلاعات موجود در شکل ۲۳-۱۲ می‌توان موارد زیر را استنتاج کرد :

۱ – کرت‌های مارو :

الف: تناوب ذرت یولاف و شبدر سبب بالارفتن میزان ماده‌ی آلی در مقایسه با کشت متوالی ذرت به‌رغم میزان عناصر غذایی مصرف شده گردید، احتمالاً به‌خاطر این‌که در تناوب، خاک‌ورزی کمتر انجام گرفته، و بقایای ریشه بیشتری تولید شده بود.

ب : استفاده از کود دامی، آهک و فسفر سبب حفظ میزان ماده‌ی آلی، به‌خصوص در کرت‌هایی که دارای تناوب بودند گردید علت افزایش ماده‌ی آلی، استفاده از کود دامی، و پس‌ماندهای گیاهی فراوان در اثر عملکرد زیاد محصول بود.

[1] - Conservation tillage
[2] - Clean tillage

ج: استفاده از آهک و کودهای شیمیایی NPK در کرت‌هایی که قبلاً کود دامی و شیمیایی (از آغاز ۱۹۵۵) در آنها مصرف نشده بود، میزان مادهی آلی خاک را احتمالاً به‌خاطر تولید و بازگشت مقادیر زیادی از پس‌ماندهای گیاهی و اضافه‌کردن نیتروژن کافی برای تقویت کربن در تشکیل هموس به مقدار قابل‌توجهی افزایش داده است.

۲ – آزمایش‌های روتام استید:

الف : تولید متوالی غلات دانه‌ریز و برداشت آن‌ها تغییر و یا کاهش اندکی در میزان مادهی آلی پایین قبلی ایجاد کرد. این نتیجه می‌توانست از قبل پیش‌بینی گردد زیرا خاک از قبل با میزان تجمع و برداشت کربن و نیتروژن که مختص تولید محصولات دانه‌ریز بدون مصرف کود شیمیایی می‌باشد به تعادل رسیده بود

ب : کاربرد هر سالهی کود دامی به میزانی که تمام نیتروژن مورد نیاز را برآورده کند، سبب افزایش خیلی شدید مادهی آلی گردید تا این‌که تعادلی جدید در سطح خیلی بالاتر از میزان مادهی آلی به‌دست آمد.

ج : در کرت‌هایی که فقط کود دامی برای ۲۰ سال اول آزمایش مصرف شده بود میزان مادهی آلی به‌محض ترک مصرف کود شروع به کاهش کرد اما اثرات مثبت کود دامی بر میزان مادهی آلی هنوز پس از یک‌صد سال آشکار می‌باشد.

نتایج حاصل از این کرت‌های آزمایشی مشهور جهانی روشن می‌سازد، خاک‌هایی که توان تولید آنها با مصرف کود شیمیایی، آهک و کود دامی و با انتخاب ارقام پرمحصول زراعی در سطح بالا نگهداری می‌شود، احتمالاً دارای مادهی آلی بیشتری از خاک‌های مشابه دارای توان تولید پایین می‌باشند. توان تولید بالا نه‌تنها به‌معنی عملکرد بالاتر گیاهان اقتصادی است، بلکه به‌معنی مقادیر زیاد بقایای ریشه و ساقهی نبات نیز که به‌خاک برگردانده می‌شود، می‌باشد. با این حال، اکثر خاک‌های زراعی دارای توان تولید بالا احتمالاً از نظر مادهی آلی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای پایین تراز خاک‌های مشابه در زیر پوشش طبیعی می‌باشند. خاک‌های تحت آبیاری در مناطق کویری که در آن پوشش طبیعی اندک و پراکنده است از این قاعده مستثنی هستند.

توصیه‌های برای مدیریت مادهی آلی خاک

درحالی‌که کربن کل نگهداری شده در خاک از نظر اثرات گلخانه‌ای جهانی مهم است، از نظر توان تولیدی و سایر نقش‌های بوم‌شناسی، رسیدن به یک سطح مشخص بالای مادهی آلی بسیار کم اهمیت‌تر از نگهداری بخش قابل‌توجهی از مادهی آلی به‌صورت فعال برای تداوم سوخت‌وساز زیستی جهت ارتقاء شخم‌آیی و چرخهی عناصر غذایی می‌باشد. اصول کلی زیر در بسیاری از موارد برای مدیریت مادهی آلی خاک قابل‌اعمال می‌باشند.

۱ – تهیهی مواد آلی و افزودن آن به‌طور مستمر به خاک برای حفظ سطح مناسب مادهی آلی خاک، به‌ویژه بخش فعال آن باید انجام گیرد، پس‌ماندهای گیاهی (ریشه‌ها و اندام‌های فوقانی)، کود دامی، کمپوست‌ها و فضولات آلی منبع اصلی این مواد آلی می‌باشند. گیاهان پوششی می‌توانند پوشش حفاظتی برای خاک ارائه نموده و مادهی آلی به‌صورت کود سبز به خاک بیافزایند. تقریباً همیشه بهتر این است که سطح خاک دارای پوشش گیاهی باشد تا این‌که بدون پوشش باقی بماند.

۲ – نباید تلاش کرد که سطح مادهی آلی خاک از آن‌چه سازوکار خاک، گیاه و اقلیم به ما تحمیل می‌کند بالاتر باشد، برای مثال، ممکن است ۱/۵ درصد مادهی آلی برای یک خاک شنی در اقلیم گرم سطح عالی باشد امّا برای یک خاک بافت‌ریز در اقلیم سرد نشانهی شرایط بسیار نامناسب است. ساده‌اندیشی خواهد بود که تلاش کنیم سطح مادهی آلی در خاک لوم سیلتی دارای نفوذپذیری خوب در ایالت تگزاس به‌اندازه سطح مطلوب مادهی آلی خاک مشابه در ایالت مینه‌سوتا ارتقاء یابد.

۳ – به‌خاطر ارتباط بین نیتروژن خاک و مادهی آلی، مقادیر کافی نیتروژن برای میزان مادهی آلی بالا مورد نیاز است. به‌همین نحو، تلفیق نباتات خانواده نیام‌داران در تناوب زراعی، مصرف عاقلانه کود شیمیایی دارای نیتروژن برای بالابردن میزان تولید خاک دو اقدام مطلوب بوده، و همزمان با آن، اقداماتی برای به‌حداقل‌رساندن اتلاف نیتروژن طی آبشویی خاکرخ، فرسایش و یا تصعید باید به‌عمل آید (فصل ۱۳ را مشاهده کنید).

٤ – حداکثر رشد گیاه سبب افزایش میزان مواد آلی اضافه‌شده به‌خاک به‌وسیلهی پس‌ماندهای گیاهی می‌گردد. حتی اگر بخش‌هایی از پس‌ماندها در حین برداشت محصول از بین برود، گیاهان دارای رشد زیاد، ریشه و پس‌ماندهای اندام‌های فوقانی خود را به‌عنوان عمده‌ترین منبع مادهی آلی در خاک باقی می‌گذارند. مصرف متعادل آهک و کودهای شیمیایی سبب ازبین‌رفتن سمیت‌ها و کمبودهای عناصر شیمیایی می‌گردد که ممکن است موانعی را در مقابل رشد گیاه ایجاد کنند.

۵ – ازآن‌جاکه عملیات خاک‌ورزی سبب هدررفت ماده‌ی آلی هم با افزایش اکسایش و هم با افزایش فرسایش می‌شود، باید انجام آن فقط محدود به مهار علف هرز، و حفظ تهویه کافی خاک، باشد. عملیات خاک‌ورزی[1] حفاظتی که انجام خاک‌ورزی را به‌حداقل می‌رساند اکثر پس‌ماندهای گیاهی را در رو و یا نزدیک سطح خاک باقی می‌گذارد، بنابراین، میزان تجزیه‌ی پس‌ماندها را کاهش داده و هدررفت ناشی از فرسایش را پایین می‌آورد. در طول زمان، خاک‌ورزی حفاظتی می‌تواند منجر به ایجاد سطوح بالای ماده‌ی آلی گردد(شکل ۲۴-۱۲ را ملاحظه کنید).

٦– پوشش گیاهی چندساله، به‌ویژه در بوم‌سامان‌های طبیعی، تا آن‌جا که مقدور است تقویت و حفظ شوند. تولید محصولات کشاورزی با عملکرد فراوان در مزارع موجود باید ترغیب گردد تا آن اراضی که فعلاً حامی بوم‌سامان‌های طبیعی هستند نسبتاً دست‌نخورده باقی بمانند. به‌علاوه از خارج‌کردن زمین از کشت‌وکار و برگشت آن به پوشش طبیعی وقتی چنین اقدامی منطقی باشد نباید اکراه داشت. اراضی وسیعی که امروزه تحت کشت‌وکار می‌باشند نمی‌بایست هرگز از پوشش اصلی خود عاری می‌شدند. برنامه حفاظت[2] منابع در آمریکا انگیزه هایی را برای انجام چنین اقداماتی فراهم کرده است(بخش ۱۴-۱۷ را مشاهده کنید).

۱۱-۱۲ خاک‌ها و اثر گلخانه‌ای

خاک‌ها از طریق تجزیه و تجمع کربن آلی اثر عمده‌ای بر ترکیب گازهای نیوار دارند. نکته اصلی در این مورد کربن موجود در ماده‌ی آلی خاک است، کربنی که از CO_2 موجود در نیوار منشاء گرفته است. وقتی ماده‌ی آلی خاک امکان کاهش یابد، CO_2 نیوار افزایش یافته و پیامدهای جهانی حادی را به‌دنبال خواهد داشت. تابلو ۳-۱۲، اهمیت ماده‌ی آلی را در ارتباط با تنظیم میزان CO_2 نیوار تشریح می‌کند.

گاز کربنیک: گازکربنیک یکی از گازهای گلخانه‌ای در نیوار زمین است که باعث می‌شود نیوار همانند شیشه یک گلخانه عمل نموده، و زمین بسیار گرم‌تر از آن‌چه می‌بایست باشد گردد. همانند شیشه‌ی گلخانه این گازها اجازه می‌دهند تابش طول موج کوتاه آفتاب داخل گردیده و بسیاری از طول موج‌های تابشی بیرون رونده را به دام اندازد. این به‌دام‌انداختن گرما به‌وسیله‌ی نیوار، تعیین‌کننده اصلی دمای کره‌ی زمین و درنتیجه اقلیم است. بسیاری از دانشمندان عقیده دارند که دمای متوسط کره‌ی زمین در قرن گذشته ۰/۵ تا ۱ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. اگر این افزایش در واقع صورت گرفته باشد، و اگر این شیوه تداوم یابد، ممکن است تغییرات عمده‌ای در توزیع بارندگی، طول دوره رشد، و ارتفاع سطح دریا طی قرن جاری صورت گیرد. گرچه، برآورد تغییرات در اقلیم کره‌ی زمین براثر عوامل مختلف مانند پوشش ابری، گرد و غبار آتشفشانی که می‌توانند در جذب حرارت گازهای گلخانه‌ای اثر بگذارند مبهم و غامض می‌باشد. درحالی‌که مشخص شده است که غلظت گازهای گلخانه‌ای درحال افزایش است، یقین کمی درمورد این‌که با چه سرعتی دمای کره‌ی زمین واقعاً درحال افزایش می‌باشد، وجود دارد.

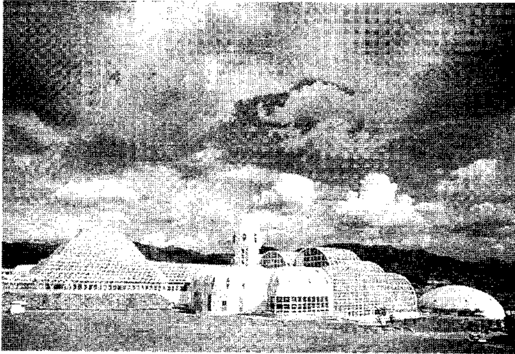
بیشترین تلاش و سرمایه‌گذاری اخیراً به کاهش نقش انسان در تغییر اقلیم زمین معطوف گردیده است. دانش خاک می‌تواند نقش عمده‌ای در ارتباط با گرم‌شدن کره‌ی زمین ایفا کند. گازهای ایجادشده به‌وسیله‌ی فرایندهای زیستی همانند آن‌هایی که در خاک صورت می‌گیرد تقریباً نصف مسأله را به عهده دارد (شکل ۲۵-۱۲ را مشاهده کنید). از ۵ گاز عمده گلخانه‌ای فقط CFC[3] انحصاراً دارای منشاء صنعتی می‌باشد. همان‌طورکه قبلاً اشاره گردید بیشتر افزایش میزان گاز کربنیک در نیوار براثر کاهش خالص ماده‌ی آلی از نظام خاک است. نیوار کنونی دارای حدود ۳۷۰ppm گاز CO_2 درمقایسه با ۲۸۰ ppm قبل از انقلاب صنعتی می‌باشد، که حاکی از افزایش ۰/۵ درصد در سال می‌باشد.

متان: متان تأثیر بسیار برجسته‌ای در اثرات گلخانه‌ای دارد، گرچه مقدار آن در نیوار بسیار کمتر از گازکربنیک موجود است، هر مولکول متان حدود ۳۰ برابر هر مولکول گازکربنیک در جذب تابش حرارتی زمین مؤثر می‌باشد. در سال ۱۹۹۰ حدود ۱/۷ ppm متان در نیوار موجود بود که دو برابر مقدار آن در سال‌های قبل از انقلاب صنعتی می‌باشد. میزان متان ۰/٦ درصد در هر سال افزایش می‌یابد. خاک‌ها هم به‌عنوان منشاء و هم به‌عنوان مقصد برای متان عمل می‌کنند، آنها هم CH_4 را از نیوار می‌گیرند و هم آن‌را به نیوار باز می‌گردانند.

---
1 - Conservation tillage
2 - Conservation Resources Program
3 - Chloroflurocarbons

تابلو ۳-۱۲ چرخه کربن در مقیاس ریز

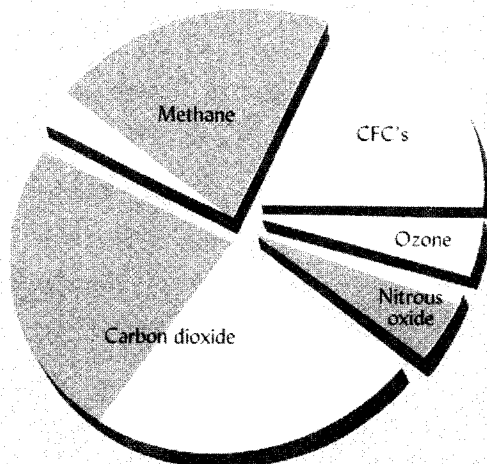
تجربه‌ای جالب توجه درمورد اثرات جهانی پویایی ماده‌ی آلی خاک به‌وسیله‌ی ۸ متخصص کره زیستی[1] با زندگی در کره زیستی- یک ساختمان شیشه‌ای ۱/۳ هکتاری در بیابان آریزونا به‌دست آمد. این سازه برای ایجاد یک بوم‌سامان خودکفا که در آن دانشمندان بتوانند به‌عنوان جزیی از زیست‌بوم زندگی و مطالعه کنند طراحی شده است. ساخت این سازه بیشتر از ۲۰۰ میلیون دلار هزینه در برداشته است. کره زیستی دارای یک اقیانوس کوچک با جزایر مرجانی، جنگل‌ها و مزارعی است که برای حفظ تعادل بوم‌شناسی طراحی شده است. هرچند متخصصین کره زیستی اوقات بسیار بدی برای کشت و تأمین غذای کافی برای خود داشتند. نیوار آنها چنان به‌زودی از اکسیژن تخلیه و از گازکربنیک غنی گشت که مهندسین مجبور شدند اکسیژن را با پمپ به‌داخل فرستاده و دستگاهی برای تمیزکردن هوا از گاز کربنیک در آن تعبیه کنند. آشکار شد که بوم‌سامان با قراردادن خاک غنی از ماده‌ی آلی در کره زیستی از نظم دقیق خارج شده است. طراحان میزان تجزیه‌ی ماده‌ی آلی را هنگام قرارگرفتن در یک محیط گرم و مرطوب که به‌وسیله‌ی عملیات خاک‌ورزی تهویه گردیده بود از میزان واقعی کمتر برآورد کرده بودند. تجزیه‌ی ماده‌ی آلی خاک به‌وسیله‌ی میکروب‌های هوازی خاک انجام گرفت که در طی آن اکسیژن را مصرف و گازکربنیک را هنگام تنفس خارج می‌سازند.



سازه زیست‌کره۲یک آزمایشگاه بزرگ و بسته‌ی بوم‌شناسی



متخصصین بیوسفر درحال کشت و تأمین غذای موردنیازخود در کشاورزی پرنهاده باخاک‌های اصلاح شده باکمپوست حاوی ماده‌ی آلی



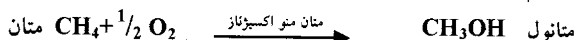
شکل ۲۵-۱۲ تأثیر نسبی گازهای مختلف در اثرات گلخانه‌ای کره‌ی زمین. بخش‌های هاشورخورده بیانگر انتشار حاصل از نظام‌های زیستی است (در آنها خاک نقش دارد) بخش‌های سفید ناشی از صنایع است.

---

1 - Biosphere

وقتی خاک‌ها دارای تهویه ضعیف باشند، موردی‌که در برنج‌زارها و اراضی ماندابی صادق است، به‌جای گازکربنیک متان از تجزیه‌ی مواد آلی به‌وسیله‌ی ریزجانداران خاک حاصل می‌شود(فصل ۲-۱۲ را مشاهده کنید). میزان تولید متان در خاک‌های مرطوب بسیار وابسته به کربن قابل‌اکسایش چه در ماده‌ی آلی خاک و چه در پس‌ماندهای گیاهی برگشت داده شده به آن می‌باشد (شکل۲۶-۱۲). ممکن است میزان متان ارائه شده به نیوار از این خاک‌ها همچنین با سرشت و مدیریت نباتاتی که بر روی آنها رشد می‌کنند تنظیم شود. برای نمونه، ۷۰ تا ۸۰ درصد متان آزادشده از خاک‌های غرقابی از طریق ساقه‌ی برنج و یا علف‌های طبیعی مرداب به نیوار باز می‌گردد. در خاک‌های دارای تهویه‌ی خوب ممکن است موریانه‌های خاکزی مقادیر زیادی متان تولید کنند (بخش ۵-۱۱ را مشاهده کنید). این فرایند زیستی عامل بیرون‌فرستادن بیشتر متان به نیوار می‌باشد.

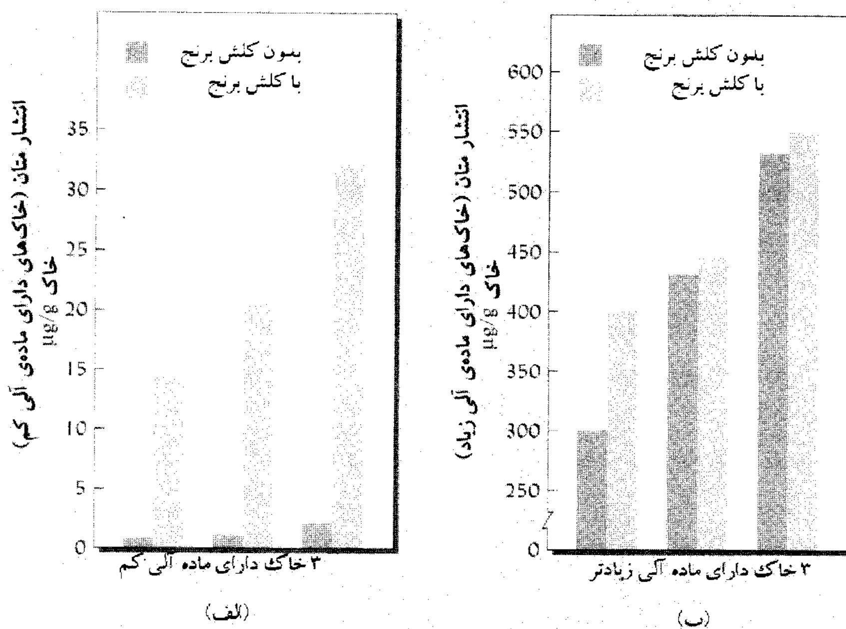
بعضی از باکتری‌های متان خوار[1] انزیم متان منواکسیژناز[2] تولید کرده که به آنها اجازه می‌دهد متان را به‌عنوان منبع انرژی اکسیده کنند.



$$\text{متان } CH_4 + {}^1/_2\, O_2 \xrightarrow{\text{متان منو اکسیژناز}} CH_3OH \text{ متانول}$$

این واکنش، که به‌طور وسیعی در خاک‌ها انجام می‌شود سبب کاهش بار گازهای گلخانه‌ای جهانی با از بین رفتن سالانه ۱ میلیارد تن متان می‌باشد. متأسفانه، استفاده مداوم از کودهای شیمیایی نیتروژن (مخصوصاً آمونیوم) در اراضی زراعی، مراتع و جنگل‌ها نشان داده است که ظرفیت اکسایش متان خاک را می‌کاهد. شواهد نشان می‌دهند که قابلیت استفاده سریع آمونیوم از کودهای شیمیایی سبب می‌شود که باکتری‌های اکسیدکننده آمونیوم به‌جای باکتری‌های اکسیدکننده متان تحریک گردند. آزمایش‌های طولانی‌مدت در انگلستان و آلمان مشخص می‌سازند که تأمین نیتروژن در شکل آلی (مانند کود دامی) سبب ارتقاء ظرفیت خاک برای اکسایش متان می‌گردد (جدول ۷-۱۲).

اکسید نیترو (N_2O) یک گاز گلخانه‌ای دیگر است که به‌وسیله‌ی ریزجانداران از خاک‌ها با تهویه ضعیف تولید می‌شوند، امّا ازآن‌جاکه در چرخه‌ی کربن دخیل نمی‌باشند در فصل بعد(بخش ۹-۱۳) مورد بحث قرار خواهد گرفت. ازآن‌جاکه خاک می‌تواند به‌عنوان یک مبداء و یا مقصد برای گاز کربنیک، متان، اکسیدنیترو عمل کند، روشن است که مدیریت خاک همراه با اقداماتی برای تغییر فراورده‌های صنعتی می‌تواند نقش عمده‌ای در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای داشته باشد.



شکل ۲۶-۱۲ گرم‌شدن کره‌ی زمین با آزادشدن متان از خاک‌های دارای تهویه ضعیف درحال افزایش است. متان یک گاز گلخانه‌ای با توان گرم‌کردن نیوار حدود ۳۰ برابر گازکربنیک می‌باشد. خاک‌های برنج‌زارهای غرقابی فاقد اکسیژن برای بیشتر از ۲ میلیارد نفر غذا تأمین می‌کنند، امّا عامل انتشار ۱/۲ متان در مقیاس جهانی هستند. آزادشدن متان با افزودن ماده‌ی آلی، افزایش می‌یابد. چه در خاک دارای کلش (ستون‌های سفید) و چه خاک بدون کلش (ستون‌های هاشورخورده). به مقیاس متفاوت برای خاک‌های دارای ماده‌ی آلی کم (الف) با خاک‌های دارای ماده‌ی آلی زیاد (ب) توجه کنید.

[1] - Methanotrophic
[2] - Methan oxygenase

جدول ۷-۱۲ اثر نظامهای مدیریت حاصلخیزی نیتروژن در اکسایش متان در یک خاک زراعی (مولیسول) در آلمان: چهار تیمار نیتروژن سالانه برای مدت ۹۲ سال در یک تناوب چغندرقند، جو بهاره، سیبزمینی و گندم پاییزه مصرف شدند، اندازهگیری برروی خاک در بهار قبل از مصرف سالانهی نیتروژن بهعملآمده توجه کنید کود دامی سبب افزایش اکسایش متان گردید، درحالیکه کود نیتروژن معدنی (نیترات آمونیوم) میزان اکسایش متان را از تیمار شاهد و تیمار کود آلی کمتر ساخت.

تیمارخاک	pH خاک	نیتروژن نیتراتی خاک Kg/ha	نیتروژن آمونیاکی خاک Kg/ha	میزان اکسایش متان nL CH_4 $L^{-1}hr^{-}$
۱- هیچ نیتروژنی در هر شکلی مصرف نشده است	٦/٨	۰/۸۳	۰/۲	٤/٦
۲- کود نیتروژنه ۱۳۰-٤٠ کیلوگرم نیتروژن در نیترات آمونیم برای برآورد نیاز نبات	٦/٩	۱۵/۳۶	۳/۱	۱/۳٤
۳- کود دامی به مقدار ۲۰ تن در هکتار	۷/۰	۱/۹۸	۰/۲۲	۱۱/۲
٤- کود دامی بهانضمام کود شیمیایی همانند ردیف ۳	۷/۲	۵/۰۱	۰/۷۱	۳/۷٦

۱۲-۱۲ خاکهای آلی (هیستوسولها)

بحثهای انجام شده تا حال درمورد مادهی آلی در خاکهای معدنی معطوف گردیده بود. در تحت شرایط ماندابی در مرداب و باتلاقها اکسایش پسماندهای گیاهی چنان متوقف گردیده و مقدار آنها چنان تجمع یافته است که خصوصیات خاک تحت سیطره خصوصیات مادهی آلی خاک قرار میگیرد. اگر این خاکها بیشتر از ۳۰-۲۰ درصد مادهی آلی در رابطه با میزان رس داشته باشند. خاکهای آلی نامیده شده و در راستهی هیستوسول قرار میگیرند (فصل ۳ را مشاهده کنید). مادهی آلی در هیستوسولها ممکن است شامل پیت[1]و یا ماک[2] باشد. پیتها باقیماندههای گیاهی رشتهای و تا حدی تجزیه شده بوده که دارای رنگ قهوهای میباشند که در تولید گیاهان گلدانی بهکار میرود (تابلو ۴-۱۲). ماک از مواد گرد مانند سیاهرنگ که در آن تجزیه بسیار کاملتر انجام گرفته تشکیل شده و مادهی آلی در آن هموسی شده است.

هیستوسولها چه تحت کشتوکار و چه بهصورت طبیعی خود (اغلب در اراضی مرطوب غرقابی قرار دارند) دارای خصوصیات منحصربهفرد بوده که حاصل میزان مادهی آلی بالای آنها میباشد. آنها دارای رنگ قهوهای تیره با وزن مخصوص بسیار پایین (۰/٤-۰/۲ مگاگرم در متر مکعب) و ظرفیت نگهداری آب ۲ تا ۳ برابر وزن خشک خود میباشند. ظرفیت تبادل کاتیونی هیستوسولها بر اساس وزن (نه بر اساس حجم) معمولاً از رسهای معدنی بیشتر است(جدول ۸-۱۲). بهرغم نسبت C/N نسبتاً بالا (بهطور متوسط ۲۰:۱ درمقایسه با خاکهای معدنی که ۱۲:۱ میباشد) در هیستوسولها میزان معدنیشدن بالا بوده که به آزادشدن نیتراتها بعد از زهکشی آنها منجر خواهد شد. ظاهراً اکثر کربن پیتها از نوع غیرفعال بوده و به حمله میکروبهای خاک بسیار مقاوم میباشند، مقدار کل مادهی آلی در این خاکها چنان زیاد است که حتی تجزیه مقدار اندکی از آن سبب آزادشدن مقادیر قابلتوجهی نیتروژن معدنی خواهد شد.

هیستوسولها (و هیستل[3]، خاکهای دارای یخبندان دایمی با افق سطحی آلی) در تعادل چرخه کربن دارای اهمیت میباشند، زیرا هرچند آنها حدود یک درصد مساحت کرهی زمین را پوشش دادهاند اما تقریباً ۲۰ درصد کربن خاکهای جهان را به خود اختصاص دادهاند. در حالیکه زهکشی هیستوسولها آنها را برای کشت سبزیها و گلکاری بینهایت ارزشمند میسازد، سبب تسریع اکسایش مادهی آلی نیز میشود که در طول زمان سبب تجزیهی هیستوسولها و افزایش آزادشدن گازکربنیک به نیوار میشود (بخش ۲۷-۱۲ را مشاهده کنید)، برای محافظت این خاکها سطح آب زیرزمینی تا آنجا که مقدور است باید نزدیک سطح زمین نگهداری شود.

هیستوسولها ممکن است در تنظیم تغییرات اقلیم در طولانی مدت نقش تعیینکننده داشته باشند. افزایش گاز کربنیک نیوار سبب بالا رفتن دمای زمین، بالا آمدن آب دریاچهها و ذوب شدن سریع کلاهکهای یخ قطبی گردد. افزایش سطح دریا دارای دو پیامد میباشد که میتواند با اثرات افزایش CO_2 در طبیعت مقابله کند. اول، حجم بیشتر آب در دریاها میتواند سبب جذب CO_2 بیشتری شود، دوم بالا رفتن آب اقیانوسها اراضی ساحلی بیشتری را بهزیر آب خواهد برد که خود سبب ایجاد شرایطی برای تشکیل هیستوسولها در باتلاقهای

[1] - Peat
[2] - Muck
[3] - Histels

جزر و مدی خواهد شد. تجمع ماده‌ی آلی در این هیستوسول‌های تازه تشکیل شده خود نشانه‌ی مصادره‌ی مقادیر زیادی CO_2 از نیوار می‌باشد. ممکن است جذب این مقدار CO2 به کاهش روند وسرعت گرم‌شدن کره‌ی زمین کمک کند.

جدول ۸-۱۲ حداکثر ظرفیت تبادل کاتیونی یک کلویید آلی و چندین کلویید معدنی : براساس وزن، CEC هموس به‌مراتب بیشتر از کانی‌های دیگر است. اما بر اساس حجم، دو کانی ورمی‌کولیت و اسمکتیت دارای CEC بالاتر از هموس می‌باشند.

نوع کلویید	ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)	
	بر اساس وزن cmol c/kg	بر اساس حجم cmol c/L
هموس (کلویید آلی)	۳۰۰	۷۵
ورمی‌کولیت	۱۲۰	۱۵۰
اسمکتیت	۹۰	۱۱۳
میکای دانه‌ریز	۲۵	۳۱
کائولینیت	۵	٦
هیدرا کسیدها	۳	٤

تابلو ۴-۱۲ مواد آلی برای محیط‌های گلدانی

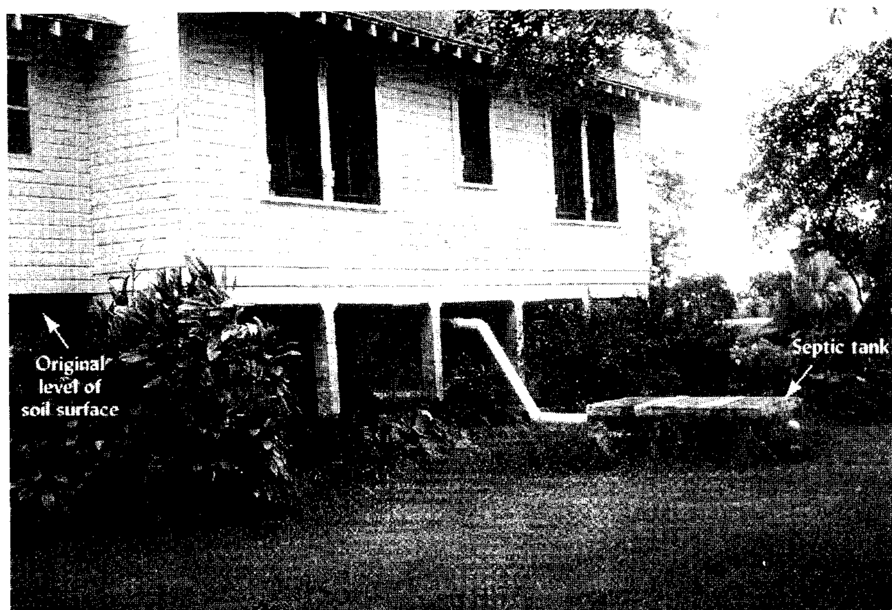
اهمیت اقتصادی گیاهانی که در محفظه‌ها رشد می‌کند (تولید جعبه‌ای) درسال‌های اخیر بسیار افزایش یافته است. گیاهان کشت‌شده در محفظه‌ها، برای خزانه‌های جنگلی، تولید گیاهان در شاسی، کشت گیاهان زینتی در محیط بسته، عناصر معماری زمین‌نما[1] و آزمایش‌های علمی گلخانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. همان‌طورکه در فصل‌های ٤، ۵، ۷ و ۱۰ بیان گردید، کشت گیاهان در گلدان‌های کوچک و یا سایر محفظه‌ها مسایل خاصی را مطرح می‌کند که در کشت مزرعه‌ای گیاهان با آن مواجه نمی‌باشیم. بیشتر مسایل مربوط به ریشه‌دوانی محفظه‌ای دارای سرشت فیزیکی بوده و عمدتاً شامل آب و هوا و دما می‌باشد. پیت و سایر مواد آلی سبک وزن دارای ظرفیت نگهداری آب بالا و منافذ تهویه‌ای درشت می‌باشند. مواد آلی همچنین دارای ظرفیت تبادل کاتیونی قابل‌ملاحظه‌ای برای نگهداری عناصر غذایی قابل‌استفاده گیاه هستند.

ضایعات آلی پایدار شده از طریق کمپوست‌کردن به‌عنوان مکمل اصلی در مخلوط گلدانی به‌طور روزافزون مورد استفاده می‌باشد. علاوه بر مزایایی که در مورد پیت گفته شد مواد کمپوست‌شده ممکن است سبب آزادشدن نیتروژن و سایر عناصر غذایی درحین تجزیه آرام شوند. استفاده از کمپوست ایجادشده از ضایعات آلی مانند لجن فاضلاب، کود مرغی و یا اشغال شهری نه‌تنها یک منبع قابل‌تجزیه ارزان قیمت گلدانی را برای گلخانه‌ها فراهم می‌کند، بلکه سبب حل مشکلات دفع ضایعات نیز خواهد شد. اگرچه استفاده از پیت معادن در مقادیر زیاد هنوز در تولید گیاهان جعبه‌ای ادامه دارد.

پیت‌ها که در مخلوط‌های گلدانی به‌کار می‌روند از رسوباتی که خاک‌های هیستوسول در آن تشکیل شده به‌خصوص از مناطق سرد استخراج می‌شوند. ۳ نوع پیت به‌طور کلی مشخص شده است که عبارتند از: رشته‌ای، چوبی و رسوبی. پیت‌های رشته‌ای برای مخلوط‌های گلدانی مطلوب‌ترین نوع می‌باشند. این پیت‌ها دارای ظرفیت آب قابل‌استفاده بسیار بالایی هستند. آن‌ها ممکن است ۱۰ تا ۲۰ برابر وزن خشک خود (۲ تا ٤ برابر حجمی) آب را نگهداری کنند. بعضی از پیت‌های رشته‌ای (پیت خزه‌ای) به‌دلیل پایین‌بودن خاکستر آن (مواد معدنی) کاملاً اسیدی می‌باشند.

استفاده از پیت در اروپا و امریکای شمالی شغل پردرآمدی است. علاوه بر مصرف آنها در گلدان‌ها همچنین به‌صورت خاک‌پوش در باغچه‌های خانگی و چمن‌ها مصرف می‌شوند. گلدان‌های رشته‌ای درست‌شده از پیت‌ها برای شروع رشد گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرند، که بعدها بدون نیاز به خارج‌کردن گیاه از گلدان، نبات در داخل خاک نشاء می‌گردد. نهشته‌های پیت همچنین به‌طور گسترده‌ای برای سوخت (پس از خشک‌شدن) مصرف می‌شوند، به‌خصوص در اتحاد جماهیر شوروی سابق و در جمهوری ایرلند، که سوخت بعضی از نیروگاه‌های تولید برق از پیت تأمین می‌شود. متأسفانه، این فعالیت‌ها یک استفاده پایدار از منابع هیستوسول نمی‌باشد.

[1] - Landscape architecture



شکل ۲۷-۱۲ فرونشینی خاک براثر تجزیه سریع مادهی آلی بعد از انجام زهکشی مصنوعی در خاکهای هیستوسول در اورگلید فلوریدا. منزل همسطح با زمین ساختهشده و مخزن سپتیک (فاضلاب) در عمق ۱ متری زیر سطح خاک دفن گردیده بود. در طول مدت ۶۰ سال بیشتر از ۱/۲ متر مادهی آلی خاک ناپدید گردید هدررفت بهویژه بهدلیل اقلیم گرم فلوریدا شدید بود، اما زهکشی مصنوعی که سبب پایینبردن سطح آب زیرزمینی شده و بهطور مداوم افقهای بالای خاک را خشک میکند یک روش نامناسب در هر خاک هیستوسول میباشد.

۱۳-۱۲ نتیجهگیری نهایی

مادهی آلی یک جزء فعال و پیچیدهی خاک است که تأثیر عمدهای بر رفتار، خصوصیات و نقش خاک در بومسامان اعمال میکند. بهخاطر کربن فوقالعاده زیاد ذخیره شده در مادهی آلی و سرشت پویای این جزء خاک، مدیریت خاک میتواند یک وسیله مهّم برای متعادلکردن اثرات گلخانهای جهانی باشد.

تجزیهی مادهی آلی، آزادشدن عناصر غذایی و تشکیل هموس بهوسیلهی عوامل محیطی و کیفیت مواد آلی اداره میشود، مقادیر زیاد لگنین و پلیفنل همراه با نسبت بالای C/N فرایند تجزیه را بهطور مشخص کاهش داده و سبب تجمع مادهی آلی و درعینحال کاهش قابلیت استفاده عناصر، میگردد.

بهدلایل چندی، مفید خواهد بود که مدیریت تجزیهی مادهی آلی در خارج از خاک در فرایندی که کمپوستکردن نامیده میشود، انجام گیرد، کمپوستکردن سبب تغییرشکل و تبدیل مواد مختلف زاید آلی به یک محصول هموس مانند میشود که میتواند بهعنوان مادهی اصلاحکنندهی خاک، و یا جزیی از مخلوط گلدانی مورد استفاده قرار گیرد. تجزیهی هوازی در یک تودهی کمپوست میتواند سبب حفظ عناصر غذایی، ضمن اجتناب از مسایل خاص مانند بوهای نامطبوع، وجود مقادیر اضافی و یا کمبود نیتروژن محلول گردد، که در صورت مصرفکردن فضولات آلی تازه بهطور مستقیم در خاک میتواند صورت پذیرد.

مادهی آلی خاک از سه مخزن عمده ترکیبات آلی تشکیل شده است، بخش فعال شامل زیتودی میکروبی و ترکیباتی با تجزیهی آسان مانند پلیساکاریدها، و سایر مواد غیرهومیکی میباشد. اگرچه این بخش فقط درصد اندکی از کربن کل میباشد، نقش عمدهای در چرخه عناصر غذایی، کیلاتیکردن عناصر کممصرف، حفظ پایداری ساختمانی و شخمآیی خاکها داشته و بهعنوان منبع غذایی سبب استحکام و بقای تنوع و فعالیت زیستی در خاکها میشود.

بیشتر مادهی آلی در مخزن غیرفعال قرار دارد که شامل مواد بسیار پایداری است که در مقابل یورش میکروبی مقاومت کرده و ممکن است برای قرنها در خاک دوام داشته باشد، این بخش تبادل کاتیونی و ظرفیت آب قابلاستفاده را به عهده دارد، امّا از نظر زیستی بدون اثر است. بخش آرام مادهی آلی در پایداری و مقاومت در مقابل تجزیه در حالت بینابین قرار دارد، این بخش منابع غذایی و انرژی را برای سوختوساز پایدار جانداران بومی خاک که در فواصل زمانی بین مصرف پسماندهای گیاهی موجودیت پیدا میکنند فراهم میسازد. وقتی

خاک از پوشش طبیعی عاری شد و به‌زیر کشت درآمد، کاهش اولیه در ماده‌ی آلی خاک سبب مصرف بخش فعال خواهد شد. بخش غیرفعال فقط به‌تدریج و در ایام بسیار طولانی تخلیه خواهد شد.

نسبت کربن به نیتروژن ($^C/_N$) اکثر خاک‌ها تقریباً ثابت، و معمولاً نزدیک ۱۲:۱. است این بدان معناست که میزان ماده‌ی آلی تا حدی به‌وسیله‌ی نیتروژن قابل‌استفاده برای هضم میکروبی و تبدیل آن به هموس مشخص می‌گردد، مدیریت خاک برای ارتقاء سطح ماده‌ی آلی بنابراین باید شامل راه‌هایی برای تأمین نیتروژن مثل استفاده از نباتات نیام‌دار باشد.

میزان ماده‌ی آلی تحت تأثیر اقلیم (در مناطق سرد و مرطوب مقدار آن بیشتر است)، زه‌کشی (در خاک‌های زه‌کشی ضعیف زیادتر است)، و نوع پوشش گیاهی است (معمولاً در زیتوده ریشه مانند علف گندمیان بیشتر است).

نگهداری ماده‌ی آلی خاک، به‌خصوص بخش فعال در خاک‌های معدنی یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها در مدیریت منابع طبیعی در سراسر جهان می‌باشد، با تقویت رشد شدید نبات زراعی و یا سایر گیاهان، بقایای فراوانی (که شامل نیتروژن و کربن می‌باشد) را می‌توان به‌طور مستقیم یا از طریق احشام مصرف‌کننده‌ی علوفه به زمین بازگرداند. همچنین با محدودکردن خاک‌ورزی، مهار فرسایش و حفظ اکثر پس‌ماندهای گیاهی در سطح و یا نزدیکی سطح خاک، میزان تجزیه‌ی ماده‌ی آلی می‌تواند به‌حداقل برسد.

خاک‌های آلی (هیستوسول ها) سهم بزرگی از ماده‌ی آلی جهانی را دارا می‌باشند. این خاک‌ها نسبت به آب و هوا بسیار نفوذپذیر بوده و می‌توانند مقدار بیشتری آب و کاتیون‌ها را نسبت به خاک‌های معدنی در هکتار نگهداری کنند. زه‌کشی این خاک‌ها، درحالی‌که امکان استفاده از آنها را برای تولید سبزی‌های پرارزش و گل‌کاری فراهم می‌کند، سبب اکسایش تسریعی ماده‌ی آلی آنها و آزادشدن CO_2 به مقدار زیاد می‌گردد.

تجزیه و معدنی‌شدن ماده‌ی آلی یکی از فرایندهای اصلی حاکم بر اقتصاد گوگرد و نیتروژن در خاک‌هاست که در فصل بعد مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

سووالات برای مطالعه

۱- مقدار کربن موجود در پوشش گیاهی زمین را با خاک‌ها و نیوار مقایسه کنید.

۲- اگر بخواهید یک ماده‌ی آلی را به خاک بیفزایید که سبب ایجاد خاک‌پوش پایدار در روی خاک کند. شما ماده‌ی آلی با چه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی را انتخاب خواهید کرد؟

۳- تشریح کنید که چگونه اضافه‌کردن انواع خاصی از مواد آلی به خاک‌ها می‌تواند یک دوره‌ی کسادی نیترات را سبب گردد. ارتباط آن با رشد نبات چیست؟

۴- علاوه بر مواد هومیکی چه گروه‌هایی از مواد آلی در خاک‌ها پیدا می‌شوند؟

۵- بعضی از دانشمندان، لاشبرگ گیاهی (بقایای سطحی) را در تعریف خود از ماده‌ی آلی منظور و بعضی دیگر منظور نمی‌دارند. دو جمله کوتاه بنویسید که در یکی ضمیمه نمودن و در دیگری حذف پوشش گیاهی را به‌عنوان ماده‌ی آلی توجیه می‌کند.

۶- چه خصوصیاتی از خاک به‌وسیله‌ی بخش فعال ماده‌ی آلی به‌طور عمده تحت تأثیر قرار می‌گیرد؟

۷- در این کتاب و جاهای دیگر ماده‌ی آلی خاک و کربن آلی خاک معمولاً به‌معنی یکسان آورده شده‌اند. ارتباط این واژه‌ها به‌طور کمّی و مفهومی چگونه است؟ چرا واژه کربن آلی معمولاً برای بحث علمی کمیتی مناسب‌تر است؟

۸- با واژه‌های تعادل بین دست‌آورد و هدررفت، تشریح کنید چرا خاک‌های کشاورزی معمولاً دارای سطح کمتری از کربن آلی در مقایسه با خاک‌های مشابه تحت پوشش طبیعی می‌باشند؟

۹- از چه طریقی خاک‌ها در اثرات گلخانه‌ای و گرم‌شدن کره‌ی زمین دخیل هستند، روش‌های معمول مدیریت خاک که می‌توانند برای کاهش آثار منفی و افزایش آثار مثبت در اثرات گلخانه‌ای مؤثر باشد کدامند؟

۱۰- چه علتی سبب فرونشینی هیستوسول‌ها می‌شود چگونه این پدیده در ارتباط با استفاده از هیستوسول‌ها می‌باشد؟

فصل ۱۳

اقتصاد نیتروژن و گوگرد در خاک

نیتروژن و گوگرد به‌عنوان عناصر اساسی رشد نبات در بعضی از خصوصیات مهم مشترک می‌باشند. هر دو عمدتاً در خاک‌ها به‌صورت آلی یافت می‌شوند. هر دو در داخل خاک‌ها و نباتات عمدتا به‌صورت آنیون حرکت می‌کنند، و هر دو در مسایل جدی آلودگی زیست‌محیطی دخیل می‌باشند. بنابراین آن‌ها با هم مورد مطالعه قرار خواهند گرفت. اول با نیتروژن شروع می‌کنیم.

در مقایسه با دیگر عناصر غذایی معدنی، بیشترین هزینه و تلاش در مورد مطالعه و مدیریت نیتروژن مصرف گردیده و خواهد گردید، دلیل خوب این است که: بوم‌سامان جهانی احتمالاً بیشتر از هر عنصر غذایی اصلی در معرض کمبود و زیادبود نیتروژن می‌باشد. نباتات زراعی گرسنه از نظر نیتروژن و با رنگ سبز متمایل به زرد کم‌رنگ، افت محصول، ازبین‌رفتن منابع مالی و گرسنگی را برای مردم در تمام گوشه‌های جهان پیش‌گویی خواهد کرد. همین‌طور کمبود نیتروژن در بین نباتاتی که در شرایط طبیعی رشد می‌کنند، شایع می‌باشد. به‌خصوص هنگامی‌که تثبیت زیستی نیتروژن از نیوار به‌وسیله‌ی ریزجانداران خاص وجود نداشته، و بازچرخ بخش عمده‌ای از نیتروژن جذب شده ازبوم‌سامانان طبیعی صورت نگیرد، کمبود نیتروژن می‌تواند گسترده‌تر باشد.

زیادی نیتروژن در خاک‌ها می‌تواند اثرات منفی بر سلامت انسان یا حیوانات داشته و کیفیت محیط‌زیست را به تباهی بکشاند. مقادیر زیاد نیتروژن درخاک می‌تواند سبب بالارفتن مقدار نیترات در آب آشامیده شده و زندگی نوزادان انسان‌ها و حیوانات نشخوارکننده را به خطر اندازد. به‌همین دلیل است که میزان نیترات در چاه‌ها، مخازن و سایر منابع تأمین آب آشامیدنی مورد پایش قرار می‌گیرد. همین‌طور، حرکت ترکیبات محلول نیتروژن از خاک به سامانه‌های آبی می‌تواند تعادل این سامانه‌ها را به‌هم‌زده و سبب غنی‌شدن[1]، کاهش میزان اکسیژن آب و مرگ بعدی ماهی‌ها و دیگر گونه‌های آبزیان گردد.

نیتروژن یک جزء مهم از پروتیین بوده و به‌خاطر اهمیت تغذیه‌ای و نادربودن نسبی پروتیین، به‌وسیله‌ی اکثر حیوانات از جمله انسان‌ها به‌شدت مورد درخواست می‌باشد. تأمین نیتروژن کافی برای تولیدات کشاورزی اغلب عمده‌ترین هزینه را در برگرفته و همین‌طور ساخت کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار بخش عمده‌ای از مصرف سوختهای فسیلی را در بخش کشاورزی شامل می‌شود. مسیر دیگر که نیتروژن را به محیط گسترده‌تر وصل می‌کند فرایند تخریب ازن به‌وسیله‌ی گاز اکسید نیترو می‌باشد که در خاک تولید می‌شود. روشن است که برای مدیریت چرخه‌ی نیتروژن در خاک سرمایه‌های بوم شناختی، مالی، و محیطی بسیار زیاد است.

۱۳-۱ اثرات نیتروژن بر رشد و توسعه‌ی نبات

نقش نیتروژن در گیاهان: نیتروژن یکی از اجزای تشکیل‌دهنده در بسیاری از ترکیبات اصلی گیاهی است. بخش عمده‌ای از اسیدآمینه‌ها را تشکیل می‌دهد که سازنده‌ی واحدهای ساختمانی پروتیین، از جمله آنزیم‌ها می‌باشند که تمام فرایندهای حیاتی را اداره می‌کنند. سایر ترکیبات نیتروژدار مهم گیاهی شامل اسیدنوکلییک (که در آن اداره‌ی توارث صورت می‌پذیرد) و سبزینه می‌باشد که در قلب فرایند سوخت‌وساز نوری قرار دارد. نیتروژن همچنین برای مصرف کربوهیدرات‌ها در داخل گیاه اساسی است. تأمین مناسب نیتروژن سبب تحریک رشد و توسعه ریشه و همین‌طور جذب سایر عناصر غذایی می‌گردد.

گیاهان به افزایش قابلیت استفاده نیتروژن به‌سرعت واکنش نشان می‌دهند. این عنصر سبب تحریک رشد رویشی قسمت‌های هوایی نبات گردیده و به برگ‌ها رنگ سبز تیره می‌دهد. نیتروژن سبب افزایش پرشدن دانه‌ی غلات، میزان پروتیین هم در بذور هم در برگ‌ها شده، و سبب شادابی برگ‌های نباتاتی مانند کاهو و تربچه می‌شود. نیتروژن می‌تواند توان تولید نباتات را، چه به‌صورت عملکرد محصول نبات برحسب تن، حجم الوار، ظرفیت چرای مرتع، و یا ضخامت چمن، به‌طور فوق‌العاده تقویت کند. شاخ و برگ سالم نباتات معمولاً دارای ۲/۵ تا ۴ درصد نیتروژن در ماده‌ی خشک برحسب سن برگ و نیام‌داربودن نبات می‌باشد.

کمبود: نباتات دارای کمبود نیتروژن دارای رنگ سبز متمایل به زرد کم‌رنگ (کلروز)[2]، ظاهری کم‌رشد و ساقه‌های باریک می‌باشند (تابلوهای رنگی ۲۲ و ۲۳). گیاهان دارای کمبود نیتروژن دارای پروتیین کم و میزان قند زیاد می‌باشند، زیرا نیتروژن کافی برای ترکیب با تمام

---

[1]- Eutriphication
[2] -Chlorosis

زنجیره‌های کربن که معمولاً برای ایجاد پروتیین لازم است، موجود نمی‌باشد. نیتروژن در داخل نبات کاملاً متحرک[1] (به آسانی جابه‌جا می‌شود) بوده. و وقتی جذب آن به‌وسیله‌ی گیاه ناکافی باشد، فرآورده‌های موجود در نبات به برگ‌های جدید انتقال یافته و سبب می‌گردد که در برگ‌های مسن مشخص‌ترین علائم زردی (کلروز) آشکار گردد. بنابراین برگ‌های مسن گیاهان دارای کمبود نیتروژن ابتدا به رنگ زرد برگشته و احتمالاً قبل از رسیدن کامل خزان کرده و سقوط کنند (شکل ۱-۱۳، الف‌وب). گیاهان دارای کمبود نیتروژن اغلب دارای نسبت ساقه به ریشه‌ی اندک بوده و با سرعت بیشتری از گیاهان سالم می‌رسند. اثرات منفی کمبود نیتروژن بر اندازه و قدرت نبات اغلب بسیار شدید می‌باشد (شکل ۱-۱۳ج).

زیادبود نیتروژن: وقتی نیتروژن به‌مقدار خیلی زیاد مصرف گردد، رشد رویشی شدید خواهد بود، یاخته‌های ساقه‌ی گیاهان طویل اما نسبتاً ضعیف می‌گردند و گیاهان با بخش فوقانی سنگین درصورت مواجه با باران و باد شدید در معرض خوابیدن (ورس‌کردن)[2] قرار می‌گیرند (شکل ۱-۱۳- د)، ممکن است مصرف زیاد نیتروژن رسیدن نبات را به تأخیر انداخته و سبب گردد که نبات به امراض (به‌خصوص امراض قارچی) و آفت حشرات حساس گردد. این مسایل درصورت تأمین اندک سایر عناصر غذایی مانند پتاسیم شدید خواهد بود.

وقتی تأمین بیش از حد نیتروژن به مسایل مورد اشاره قبلی منجر نشود میزان عملکرد نبات ممکن است بالا بوده اما کیفیت محصول اغلب پایین می‌باشد. رنگ و مزه میوه نامطلوب گردیده، قند و میزان ویتامین سبزی‌ها و گیاهان ریشه‌ای نیز کاهش می‌یابد. تولید گل در نباتات زینتی کاهش یافته و میزان برگ‌ها بسیار فراوان خواهد بود. در شرایط خاص، مصرف بیش از حد نیتروژن ممکن است سبب تجمع نیتروژن در بافت‌های گیاهی به‌صورت نیترات به‌جای تشکیل پروتیین گردد. معلوم گردیده‌است که استفاده از این برگ‌های غنی از نیترات به‌صورت علوفه برای احشام، و استفاده از آن به‌صورت سبزی‌های برگی برای اطفال زیان‌بار می‌باشد.

میزان نیتروژنی که می‌تواند به‌وسیله‌ی گیاهان به‌طور مفید مورد استفاده قرار گیرد، در بین گونه‌های گیاهی متفاوتست، بسیاری از علف‌ها و سبزی‌های برگی برای رشد بهینه نیازمند مقدار زیادی نیتروژن می‌باشند. چه گیاهان خود از نظر مصرف زیاد نیتروژن دچار صدمه قرار گرفته و یا نگرفته باشند، مسأله عمده توان اثرات منفی میزان بالای نیتروژن بر محیط‌زیست است که باید همواره مورد ملاحظه قرار گیرد (بخش‌های ۸-۱۳ و ۹-۱۳ و ۲-۱۶ را مشاهده کنند)

اشکال مختلف جذب نیتروژن به‌وسیله‌ی گیاهان: ریشه‌ی گیاهان نیتروژن را از محلول خاک عمدتاً به‌صورت یون‌های نیترات (NO_3^-) و آمونیوم(NH_4^+) جذب می‌کنند*. اگرچه بعضی از گیاهان درصورت تأمین هریک از این دو ترکیب نیتروژن دارای بهترین رشد می‌باشند، مخلوطی از این دو شکل با نسبت‌های یکسان در اکثر گیاهان بهترین نتیجه را می‌دهد. یون‌های نیترات (یون دارای بار منفی) به آسانی براثر جریان آب به‌طرف ریشه‌ها حرکت نموده و به سهولت برای جذب گیاه قابل‌استفاده می‌باشد. برعکس یون‌های آمونیوم (یون‌ها دارای بار مثبت) به آسانی کمتری به‌طرف ریشه‌ها حرکت کند، زیرا به‌وسیله‌ی بارهای منفی کلویید خاک عمدتاً نگهداری می‌شوند. اثر این دو یون دراسیدیته ریزوسفر متفاوت است. آنیون‌های نیترات در سطح ریشه با یون‌های HCO_3^- و OH^- مبادله گردیده و درنتیجه سبب افزایش pH محلول خاک در اطراف ریشه می‌شوند، برعکس کاتیون‌های آمونیوم در سطح ریشه با ینH^+ مبادله و بنابراین سبب کاهش pH محلول خاک در اطراف ریشه می‌شوند. (شکل۲- ۱۳)، اثرات شاخص این دو یون را در pH محیط ریشه مشخص می‌سازد که اثر آن نیز در جذب سایر یون‌های همراه مانند فسفات‌ها پدیده‌ای شناخته شده است.

۲-۱۳ منشاء و توزیع نیتروژن

حدود ۳۰۰۰۰۰ مگاگرم (تن) نیتروژن در بالای یک هکتار زمین یافت می‌شود. به‌نظر می‌رسد نیوار که دارای ۷۸٪ نیتروژن گازی (N_2) است یک منبع بی‌پایان از این عنصر باشد.** پیوند سه‌تایی بسیار محکم بین دو اتم نیتروژن ($N \equiv N$) سبب بی‌اثربودن این گاز و عدم استفاده مستقیم از آن به‌وسیله‌ی گیاهان و حیوانات می‌باشد. گرچه همان‌طورکه در بخش ۱۰-۱۳ خواهیم دید، بعضی از ریزجانداران خاص می‌توانند این پیوند سه‌تایی را شکسته و ترکیبات زیستی را از نیتروژن موجود در هوا فراهم آورند. اگر این ریزجانداران توانایی این کار را نداشتند پوشش گیاهی در بوم‌سامان‌های خاکی تنک‌تر و میزان نیتروژن موجود در خاک کمتر می‌گردید.

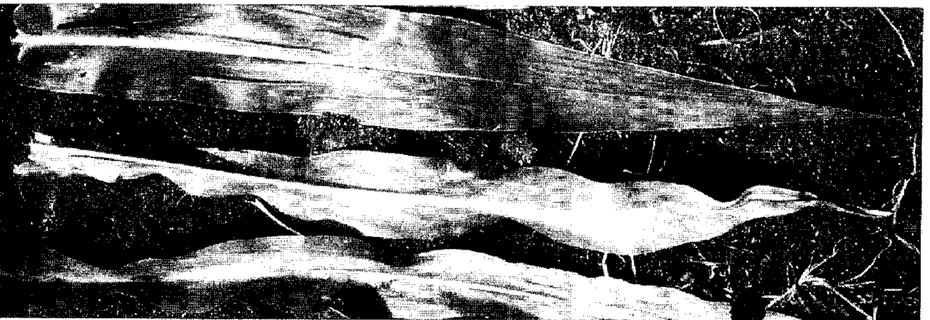
---

[1] -Mobile
[2] -Lodging

* نیتریت(NO_2^-) نیز می‌تواند به‌وسیله‌ی گیاه جذب شود. این یون برای گیاه سمی می‌باشد. خوشبختانه میزان این یون به‌ندرت از مقادیر جزیی در خاک بالاتر می‌رود.

**حدود ۹۸ درصد نیتروژن خاک در سنگ‌های آذرین قرار دارد که در بخش‌های عمیق پیوسته جای گرفته و به‌طور موثر فاقد ارتباط با محیط خاک، گیاه و هوا که ما در آن زندگی می‌نماییم می‌باشد. بنابراین توجه خود را به ۲ درصد باقیمانده که در چرخه زیست‌کره قرار دارد معطوف می‌داریم.


(الف)

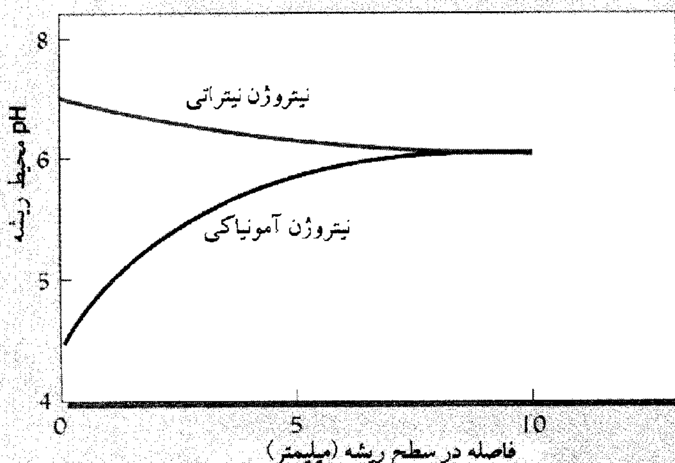

(ب)



(ج)


(د)

شکل ۱-۱۳: بعضی از اثرات نیتروژن بسیار کم، و بسیار زیاد در نباتات. (الف) برگ‌های پیر خارجی در این نبات اسفناج که در خاک‌های شنی التی‌سول دارای نیتروژن کم روییده دچار کلروز شده است. (ب)در این برگ‌های پیر نبات ذرت دچار کمبود نیتروژن (برگ‌های فوقانی عادی است) زردشدن از نوک برگ شروع گردیده و به‌طرف پایین تا رگبرگ میانی ادامه داشته است شیوه‌ای که مختص کمبود نیتروژن در ذرت است.(ج)نبات‌لوبیای دچار کمبود نیتروژن (راست) کلروز شاخص را در برگ‌های پایین و توقف رشد مشخص را درمقایسه با نبات عادی در چپ نشان می‌دهد. (د)ارقام برنج سنتی نسبتاً بلند قدآسیایی در مزرعه سمت چپ به‌خاطر مصرف زیاد کود شیمیایی نیتروژن‌دار دچار ورس شده است. در مزرعه دست راست زارع یک رقم جدید برنج کاشته است که با میزان نیتروژن زیاد عملکرد خوبی دارد زیرا ساقه آن کوتاه بوده و دارای کلش سفتی می‌باشد.



شکل ۲-۱۳ اثرات شاخص جذب یون‌های NH_4^+ و NO_3^- به‌وسیله‌ی گیاه در اسیدیته ریزوسفر با زیادشدن فاصله از سطح ریشه. وقتی یون‌های NH_4^+ جذب می‌شوند آن‌ها با یون‌های H^+ در سطح ریشه مبادله و یون‌های H^+ در داخل محلول رها گردیده و سبب کاهش pH محیط می‌شوند. همین‌طور جذب نیترات سبب مبادله با یون‌های HCO_3^- و OH^- می‌گردد که سبب افزایش pH ریزوسفر می‌شود.

میزان نیتروژن خاک‌های سطحی معدنی معمولاً ۰/۰۲ تا ۰/۵ درصد می‌باشد. رقم ۰/۱۵ درصد معرف خاک‌های تحت کشت‌وکار است. یک هکتار از این خاک‌ها احتمالاً دارای ۳/۵ مگاگرم نیتروژن در افق A و شاید ۳/۵ مگاگرم اضافی دیگر در لایه‌های عمیق‌تر باشد. در خاک‌های جنگلی لایه لاشبرگ (افقO) ممکن دارای ۱ تا ۲ مگاگرم نیتروژن دیگر باشد. درحالی‌که این ارقام درمقایسه با نیتروژن نیوار پایین است. خاک ۱۰ تا ۲۰ برابر بیشتر از پوشش موجود (از جمله ریشه‌ها) در اراضی جنگلی و زراعی دارای نیتروژن می‌باشد. بیشترین مقدار نیتروژن در بوم‌سامان‌های زمینی در خاک یافت می‌شود.

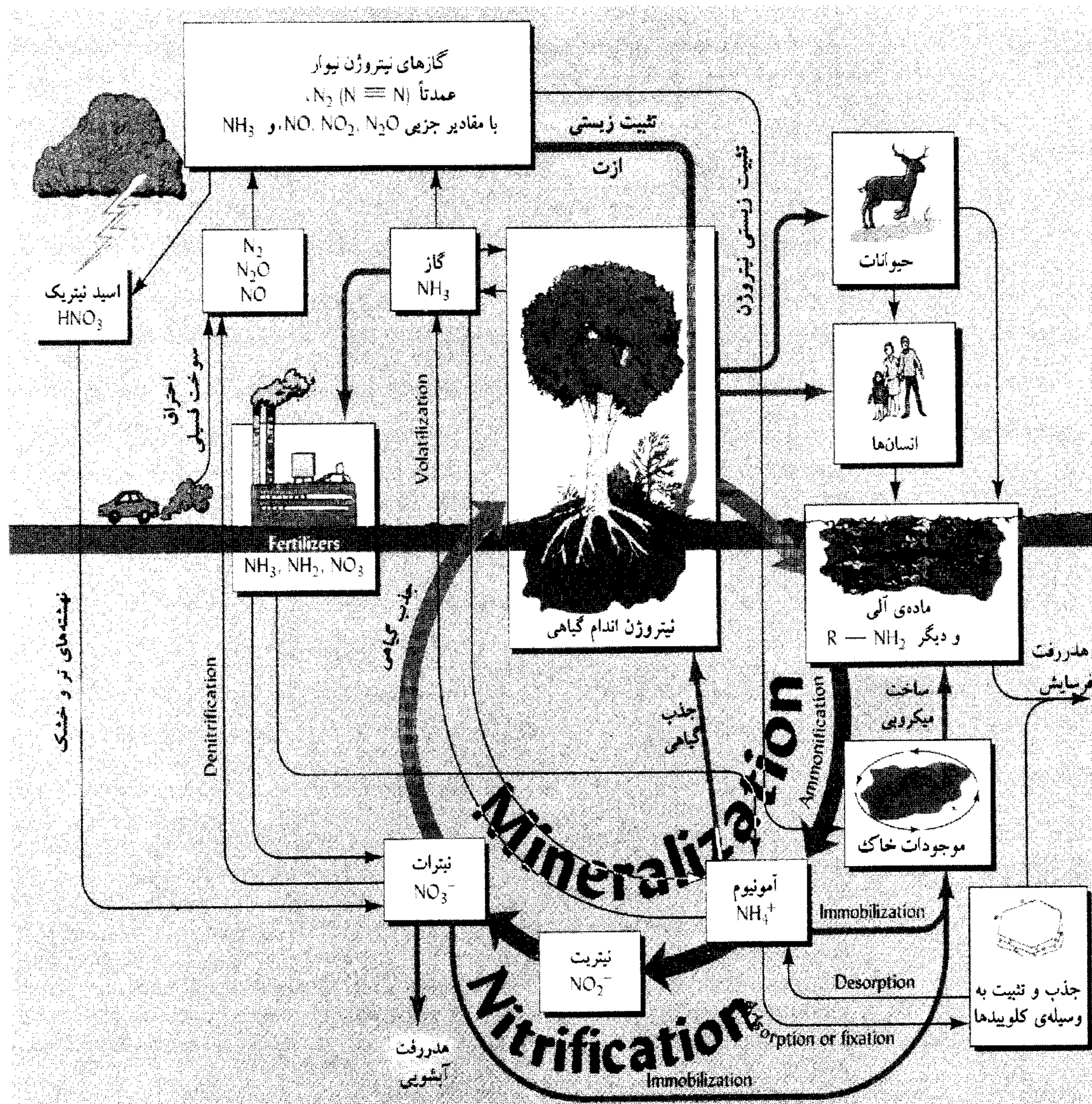
اکثر ازت خاک به‌صورت بخشی از مولکول‌های ماده‌ی آلی خاک می‌باشد، ماده‌ی آلی خاک به‌طور نمونه شامل ۵ درصد نیتروژن است، بنابراین، توزیع نیتروژن خاک در ارتباط نزدیک با ماده‌ی آلی خاک می‌باشد (بخش ۳-۱۲ را مشاهده کنید). به‌خاطر ارتباط با رس‌های سیلیکاتی خاص و یا اسید هومیک‌های مقاوم، ترکیبات نیتروژن‌دار آلی از تجزیه‌ی سریع میکروبی مصون می‌مانند. به‌طور شاخص سالانه ۲ تا ۳ درصد نیتروژن درماده‌ی آلی خاک به‌صورت نیتروژن معدنی آزاد می‌شود.

نیتروژن معدنی به‌استثنای مواردی که مقادیر زیادی کود شیمیایی مصرف شده باشد، به‌ندرت بیشتر از ۱ تا ۲ درصد نیتروژن کل خاک را شامل می‌گردد. برخلاف اکثر نیتروژن آلی، اشکال معدنی نیتروژن عمدتاً در آب محلول بوده و ممکن است به آسانی طی عمل آبشویی[1] و تصعید[2] از خاک خارج گردند.

۳-۱۳ چرخه‌ی نیتروژن

طی حرکت در چرخه نیتروژن، یک اتم نیتروژن ممکن است در اشکال مختلف شیمیایی هر یک با خصوصیات، رفتار و پیامدهای خاص خود در بوم‌سامان ظاهر گردند. سرشت چرخه‌ای این فرایند توضیح می‌دهد که چرا پوشش گیاهی (و حیوانات به‌طور غیرمستقیم) می‌تواند به برداشت نیتروژن از خاک برای قرن‌ها بدون تخلیه خاک از این عنصر حیاتی ادامه دهد. زیست‌کره[3] هیچ‌وقت از نیتروژن خالی نخواهد شد زیرا همان نیتروژن را بارها و بارها مورد استفاده قرار می‌دهد. چرخه‌ی نیتروژن از مدت‌ها قبل مورد مطالعه علمی فراوان قرارگرفته است، زیرا فهم جابه‌جایی و تغییرشکل این عنصر برای حل بسیاری از مسایل زیست‌محیطی، کشاورزی و منابع طبیعی اساسی می‌باشد. منابع و اشکال اصلی نیتروژن، و فرایندهای که با آن در تعامل قرار می‌گیرند، در شکل۳-۱۳ تشریح شده است. این شکل بایسته مطالعه‌ی دقیق می‌باشد. ما به این شکل هنگام بررسی بخش‌های مختلف چرخه مرتباً مراجعه خواهیم کرد.

1 -Leaching
2 -Volatilization
3 -Biosphere



شکل ۳-۱۳ چرخه‌ی نیتروژن با تأکید چرخه‌ی اصلی (پیکان‌هایی تیره‌رنگ پهن) که در آن نیتروژن به‌صورت معدنی در می‌آید. گیاهان نیتروژن معدنی را جذب کرده و نهایتاً به‌صورت نیتروژن آلی در پس‌ماندهای گیاهی به خاک بر می‌گردانند. همچنین به مسیرهایی که طی آن نیتروژن خاک از بین رفته و راه‌هایی که جبران می‌شود، توجه کنید. حجره‌ها معرف اشکال مختلف نیتروژن و پیکان‌ها معرف فرایندهایی است که در آن یک شکل نیتروژن به شکل دیگر تبدیل می‌شود. نیتروژن آمونیومی در چرخه نیتروژن در معرض ۵ سرنوشت است (۱)عدم تحرک (آلی‌شدن[1]) به‌وسیله‌ی ریزجانداران (۲) برداشت براثر جذب گیاهی[2]. (۳) تثبیت یون آمونیوم در بین لایه‌های بعضی از کانی‌های ۲:۱ رسی[3].(۴) بازگشت یون‌های آمونیوم به‌صورت بخار آمونیاک به نیوار[4] و (۵) یون‌های آمونیوم ممکن است طی فرایند میکروبی که نیتراتی‌شدن نام دارد به نیتریت و سپس به نیترات اکسیده گردند[5]. نیتروژن در شکل نیتراتی در خاک و طبیعت بسیار پویا می‌باشد، عرضه نیترات چه به‌صورت دادن کود و چه تولید آن در اثر فرایند نیتراتی‌شدن در خاک ممکن است در یکی از چهار مسیر در چرخه نیتروژن قرار گیرد (۱)عدم تحرک به‌وسیله‌ی ریزجانداران[6] (۲)برداشت براثر جذب گیاه (۳) هدررفت یون نیترات به‌وسیله‌ی آبشویی در زهاب[7] (۴) بخارشدن و برگشتن به نیوار به‌صورت گازهای حاوی نیتروژن

---

1 -Immobilization
2 -Plant uptake
3 -Amonium fixation
4 -Volatilization
5 -Nitrification
6 -Microorganisms
7 -Leaching

تابلو ۱-۱۳ محاسبه معدنی‌شدن نیتروژن

اگر میزان ماده‌ی آلی خاک، عملیات مدیریت خاک، اقلیم و بافت خاک معلوم باشند، امکان یک تخمین تقریبی از میزان N که هر سال احتمالاً معدنی می‌شود، وجود دارد. معادله زیر می‌تواند به‌کار رود:

$$\frac{\text{KgN min}}{\text{15cm/ha}} = \left\langle\frac{\text{A Kg SOM}}{\text{100 Kg S}}\right\rangle \left\langle\frac{\text{B Kg S}}{\text{15cm/ha}}\right\rangle \left\langle\frac{\text{C Kg N}}{\text{100Kg SOM}}\right\rangle \left\langle\frac{\text{D Kg SOMmin}}{\text{100 Kg SOM}}\right\rangle$$

که در آن :

A): مقدار ماده‌ی آلی خاک (SOM) در افق A بر حسب Kg ماده‌ی آلی در۱۰۰ کیلوگرم خاک (S)، این رقم ممکن است از حدود صفر تا بیشتر از ۷۵درصد (در خاک هیستوسول) متغیر باشد (بخش۱۲-۱۲ را مشاهده کنید). ارقام بین ۰/۵ تا ۵درصد معمول می‌باشند. از رقم ۲/۵درصد (۲/۵ کیلوگرم ماده‌ی آلی در ۱۰۰ کیلوگرم خاک) برای مثال زیر استفاده کنید.

B) : وزن خاک(S) در هکتار در عمق افق A. بیشتر نیتروژن مصرف‌شده به‌وسیله‌ی نباتات احتمالاً از افق سطحی(A) تأمین می‌شود. اگر افق سطحی(A)، ۱۵ سانتی‌متر عمق داشته باشد، $۲/۲ \times ۱۰^۶$ کیلوگرم یک تخمین معقول از وزن آن در هکتار است. فصل۵-۱۴ را برای محاسبه وزن یک افق سطحی(A) که وزن مخصوص ظاهری آن مشخص است مشاهده کنید. از عدد $۲/۲ \times ۱۰^۶$ کیلوگرم برای وزن یک هکتار با عمق ۱۵ سانتی‌متر در مثال زیر استفاده کنید.

C): مشخص می‌کند که ماده‌ی آلی نمونه(SOM) حدود دارای چند درصد نیتروژن (N) است (فصل ۳-۱۲ را مشاهده کنید).
فرض کنید ۵ درصد نیتروژن برای مثال زیر معقول باشد.

D): بیانگر مقدار معدنی‌شدن ماده‌ی آلی خاک (SOMmin) که احتمال دارد در یک سال در یک خاک مشخص معدنی شود، می‌باشد. این رقم وابسته به بافت خاک، اقلیم و عملیات مدیریتی است. ارقامی در حدود ۲ درصد برای خاک‌های بافت ریز یک شاخص می‌باشد. درحالی‌که ارقامی در حدود ۳/۵درصد شاخص خاک‌های درشت بافت مناسب می‌باشد. ارقام کمی بزرگ‌تر شاخص اقلیم‌های گرم‌تر و ارقام کمی پایین‌تر شاخص اقلیم‌های سردتر می‌باشند. در مثال زیر از رقم ۲/۵ کیلوگرم ماده‌ی آلی معدنی شده در ۱۰۰ کیلوآن استفاده کنید. میزان نیتروژن که ممکن‌است براثر معدنی‌شدن درطول یک فصل زراعی شاخص آزاد شود، با جای‌گذاری ارقام مشخص‌شده فوق‌الذکر در معادله عبارتست از:

$$\frac{\text{KgNm}}{\text{15cm/ha}} = \left\langle\frac{2.5}{100}\right\rangle \left\langle\frac{2.2\times10^6}{1}\right\rangle \left\langle\frac{5}{100}\right\rangle \left\langle\frac{2.5}{100}\right\rangle = 68.75\text{Kg/h}$$

سهمی نیز از لایه‌های پایین این خاک قابل‌انتظار است که میزان کل نیتروژن معدنی‌شده را در منطقه ریشه این خاک درطول یک فصل زراعی به بیش از ۱۲۰کیلوگرم در هکتار برساند. اکثر معدنی‌شدن درطول فصل رشد نبات که خاک به‌طور نسبی گرم و مرطوب است، صورت می‌گیرد.

این محاسبات نیتروژن معدنی‌شده را که هرسال، از خاکی که در آن مقادیر زیاد بقایای آلی اضافه می‌شود، برآورد می‌کند. کود دامی، بقایای خانواده نیام‌داران و سایر مواد اصلاح‌کننده آلی خاک غنّی از نیتروژن، بسیار سریع‌تر از ماده‌ی آلی بومی خاک معدنی می‌شوند و بنابراین میزان نیتروژن قابل‌استفاده را در خاک به‌میزان قابل‌توجهی بالا می‌برد.

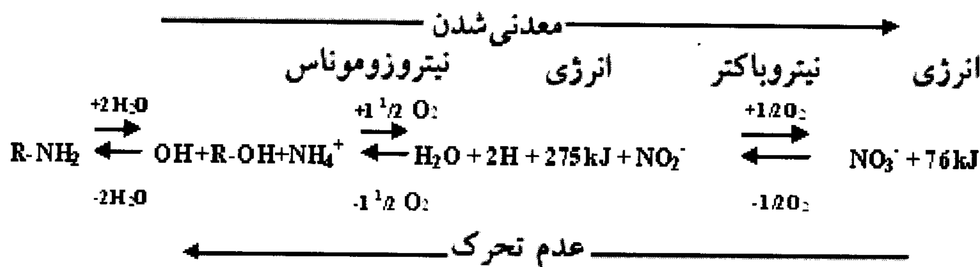
۴-۱۳آلی شدن[1] و معدنی شدن[2]

بخش بزرگی(۹۹-۹۵درصد)از حجم نیتروژن خاک در ترکیبات آلی قرار داشته که آن را از هدررفت مصون و عمدتاً به‌صورت غیرقابل استفاده برای گیاهان در خاک باقی می‌گذارد. بیشتر نیتروژن در ماده‌ی آلی به‌صورت گروه‌های آمین $R\text{-}NH_2$ عمدتاً در پروتیین و بخشی از ترکیبات هومیکی قرار دارد. وقتی این ترکیبات آلی مورد تهاجم ریزجانداران خاک قرار می‌گیرند ترکیبات ساده آمین[3] $(R\text{-}NH_2)$ تشکیل می‌شوند. سپس، گروه‌های آمین آبکافت‌شده و نیتروژن به‌صورت یون آمونیوم (NH_4^+) آزاد گردیده، که می‌تواند به‌شکل نیترات اکسایش یابد.

---

[1] -Immobilization
[2] -Mineralization
[3] -اسیدآمینه‌ها، مانند لیزین (CH_2NH_2COOH) و آلانین (CH_3CHNH_2COOH) نمونه‌های از این ترکیبات ساده هستند. R در این فرمول‌ها معرف بخشی از مولکول آلی است که همراه با گروه آمین‌ها است. برای نمونه R در لیزین CH_2COOH است.

این تبدیل نیتروژن در پیوند آلی به اشکال معدنی (NO_3^-,NH_4^+) معدنی‌شدن نام دارد (شکل ۳-۱۳). اگرچه یک مجموعه کامل از واکنش‌ها در این فرایند وجود دارد اثر خالص را می‌توان به آسانی مشاهده کرد. انواع گسترده‌ای از موجودات خاک ماده‌ی آلی را آبکافت کرده و به ترکیبات ساده تبدیل نموده و نهایتاً NH_4^+, NO_3^- تولید می‌کنند. فرایند آنزیمی می‌تواند با استفاده از ترکیبات آمینی ($R\text{-}NH_2$) به‌عنوان یک منبع آلی نیتروژن به‌صورت زیر باشد.



مطالعات بسیاری نشان داده‌اند که فقط حدود ۱/۵ تا ۳/۵ درصد نیتروژن آلی هر خاک سالانه معدنی می‌شود. با این وجود، معدنی‌شدن سبب تأمین نیتروژن معدنی کافی برای رشد عادی پوشش طبیعی (جنگل و مرتع) در اکثر خاک‌ها، به‌استثنای خاک‌های دارای میزان ماده‌ی آلی کم مانند خاک‌های بیابانی شنی می‌باشد. در اراضی زراعی با مصرف کود شیمیایی نشان‌دار مشخص شده است (ردیابی نیتروژن پرتوزا) که نیتروژن معدنی شده خاک بخش عمده‌ای از نیتروژن جذب‌شده به‌وسیله‌ی گیاه را شامل می‌باشد. اگر میزان ماده‌ی آلی یک خاک معلوم باشد، فرد می‌تواند یک تخمین سرانگشتی از مقدار نیتروژنی که احتمالاً به‌وسیله‌ی معدنی‌شدن در یک فصل رشد مشخص آزاد می‌شود، به‌عمل آورد(تابلو ۱-۱۳).

عکس معدنی‌شدن، آلی‌شدن است، و آن عبارت از تبدیل یون‌های نیتروژن معدنی (NO_3^- و NH_4^+) به اشکال آلی می‌باشد (شکل ۳-۱۳ را مشاهده کنید). وقتی پس‌ماندهای آلی کربن‌دار وارد خاک می‌گردد، در شرایط مساعد (رطوبت، دما و تهویه) به‌وسیله‌ی ریزجانداران خاک تجزیه می‌شود. رشد جماعات میکروبی ممکن است به نیتروژن بیشتری از آن‌چه در خود بقایا وجود دارد نیازمند باشد (پس‌ماندهای گیاهی با نسبت C/N بالا). بنابراین، ریزجانداران اجباراً نیتروژن معدنی خاک را برای بازسازی اجزای یاخته‌ای خود، مانند پروتیین‌ها به‌کار می‌برند. وقتی این موجودات می‌میرند، بخشی از نیتروژن آلی به همتافت رس هموس تبدیل و بخشی نیز به‌صورت یون‌های NO_3^- و NH_4^+ آزاد می‌شوند. دو فرایند عدم‌تحرک و معدنی‌شدن همزمان در خاک انجام می‌شود. اثر خالص در افزایش و یا کاهش نیتروژن قابل‌استفاده عمدتاً در ارتباط با نسبت C/N پس‌ماندهای گیاهی مورد تجزیه می‌باشد(به بخش۳-۱۲ مراجعه کنید).

۵-۱۳ تثبیت آمونیوم به‌وسیله‌ی کانی‌های رسی[1]

همانند سایر کاتیون‌ها، آمونیوم جذب سطوح دارای بار منفی کلوییدهای رسی و هموسی گردیده و به‌صورت قابل‌تبادل نگهداری می‌شود، که برای جذب نبات قابل‌استفاده بوده اما از آبشویی تاحدی محفوظ می‌ماند. به‌خاطر اندازه یون‌های NH_4^+ و(همچنین K^+) می‌توانند در حفره‌های ساختاری ۶ وجهی سیلیس در بلورهای کانی‌های رسی خاص محبوس شوند(شکل ۳-۱۳ را مشاهده کنید). کانی‌های متعدد رسی با ساختار ۲:۱ دارای تثبیت آمونیوم و پتاسیم بدین‌شیوه هستند (شکل ۳۰-۱۴ را مشاهده کنید). ورمیکولیت دارای بیشترین ظرفیت تثبیت بوده و بعد از آن میکای دانه‌ریز و رس‌های گروه اسمکتیت می‌باشند. یون‌های K^+ و NH_4^+ تثبیت شده در بخش‌های صلب یک ساختار بلوری به‌صورت غیرقابل‌تبادل می‌باشد و برای گیاهان و ریزجانداران با تانی آزاد می‌شوند. تثبیت آمونیوم به‌وسیله‌ی کانی‌های رسی در خاک تحت‌الارض معمولاً بیشتر از خاک سطحی است. زیرا میزان رس در آن‌ها بیشتر است (جدول ۱-۱۳). در خاک‌ها دارای میزان قابل‌ملاحظه رس ۲:۱ میزان تثبیت در لایه‌های سطحی ۵ تا ۱۰ درصد و در لایه‌های عمقی۴۰-۲۰ درصد نیتروژن همان لایه می‌باشد. در خاک‌های خیلی هوادیده تثبیت آمونیوم حداقل است، زیرا رس‌های ۲:۱ اندک می‌باشد. درحالی‌که تثبیت آمونیوم ممکن است به‌علت تثبیت نیتروژن مزیت به حساب آید، نرخ آزادشدن آمونیاک تثبیت شده چنان پایین است که نمی‌تواند نیازهای نیتروژن گیاهان سریع‌الرشد یک‌ساله را برآورده کند.

---

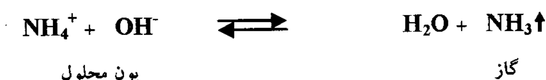
[1] - این تثبیت شیمیایی آمونیوم به‌وسیله‌ی در برگرفتن یا پیوند قوی یون NH_4^+ به‌وسیله‌ی رس‌های سیکلیک‌های خاص انجام میشود. این نوع تثبیت(که ین های K نیز مشابهاً در پیوند قرار می‌گیرند) نباید با تثبیت زیستی گاز نیتروژن نیواربه ترکیبات قابل‌استفاده گیاهان اشتباه شود.

جدول ۱-۱۳ میزان کل نیتروژن افق‌های A و B چهارخاک تحت کشت ویرجینیا و درصد نیتروژن به‌صورت غیرقابل‌تبادل و یا تثبیت‌شده‌ی NH_4^+ به درصد بالای تثبیت در افق B توجه نمایید.

گروه بزرگ خاک(سری)	کل نیتروژن (میلی گرم در کیلوگرم)		نیتروژن تثبیت شده به‌صورت NH_4^+ (درصد)	
	افق A	افق B	افق A	افق B
هاپلودولت(بوژاک)[1]	۸۱۲	۵۱۶	۵	۱۸
پالودولت(دوتان)[2]	۵۰۳	۳۳۶	۵	۱۴
هاپلودولت(گروس کلوز)[3]	۱۷۹۲	۴۵۸	۳	۱۷
هاپلودولت (الیوک)[4]	۱۱۱۰	۳۸۳	۶	۲۶

۶-۱۳ بخارشدن آمونیاک[5]

تولید گاز آمونیاک در نظام خاک و نبات می‌تواند بیشتر نیتروژن خاک را به‌صورت بخار به نیوار هدر دهد (شکل ۳-۱۳ را مشاهده کنید). منبع گاز آمونیاک ممکن است کود دامی (بوی آشنای آمونیاک در اطراف مرغداری‌ها و اصطبل‌ها) و یا کود شیمیایی (آمونیاک خشک و اوره)، پس‌ماندهای گیاهی درحال تجزیه (برگ نیام‌داران غنی از نیتروژن) و حتی برگ درختان زنده باشد. درهرحال، گاز آمونیاک در تعادل با یون‌های آمونیوم طبق واکنش برگشت‌پذیر زیر می‌باشد:



$$NH_4^+ + OH^- \rightleftharpoons H_2O + NH_3\uparrow$$

یون محلول — گاز

از این واکنش می‌توان به ۳ استنتاج زیر رسید:

۱- بخارشدن آمونیاک با افزایش pH چشم‌گیر است (با افزایش یون OH^- فعل‌وانفعال به‌طرف راست واکنش هدایت می‌شود).

۲-مواد اصلاحی تولیدکننده گاز آمونیاک سبب افزایش pH محلول و راندن فعل‌وانفعال به سمت راست می‌شود.

۳-وقتی خاک مرطوب خشک شود آب از سمت راست واکنش خارج و واکنش به سمت راست کشیده می‌شود.

کلوییدهای خاک (رس و هموس) قادر به جذب گاز آمونیاک بوده و درصورت نبود آن‌ها، و یا عدم تماس آمونیاک با خاک، هدررفت آمونیاک زیاد است. بنابه دلایل فوق، هدررفت آمونیاک از خاک‌های شنی و خاک‌های قلیایی و آهکی، به‌خصوص با مواد تولیدکننده‌ی آمونیاک در سطح و یا نزدیک سطح در هنگام خشک‌شدن خاک، بسیار سنگین است. دمای بالا، که معمولاً در سطح خاک وجود دارد سبب بخار آمونیاک می‌گردد.

مخلوط‌کردن کود دامی و کودهای شیمیایی در چند سانتی‌متری خاک فوقانی می‌تواند هدررفت آمونیاک را درمقایسه با آن‌چه در سطح مانده است به ۲۵ تا ۷۵ درصد کاهش دهد. در علف‌زارهای طبیعی و مراتع مخلوط‌کردن ضایعات دامی به‌وسیله‌ی کرم‌های خاکی و سوسک سرگین (جعل) در حفظ تعادل مطلوب نیتروژن و توانایی نگهداری احشام در این بوم‌سامان حیاتی است.

بخارشدن از اراضی مرطوب: بخار آمونیاک از کودهای شیمیایی مورد مصرف در سطح استخرهای ماهی و یا برنج‌زارهای غرقابی، به‌دلیل رشد جلبک در آب شالیزار و اخذ CO_2 از آب برای سوخت‌وساز نوری و کاهش اسیدکربنیک آب، سبب بالابردن pH به ۹ و آزادشدن گاز آمونیاک در ساعات آفتابی روز می‌شود، همانند نقاط مرتفع با مخلوط‌کردن کود در چند سانتی‌متری فوقانی خاک می‌توان از این هدررفت ممانعت کرد. اراضی ماندابی نیز به‌طور مشابه آمونیاک را در چرخه روزانه از دست می‌دهند.

جذب آمونیاک[6]: برعکس سازوکار هدررفت آمونیاک که تشریح گردید خاک‌ها و گیاهان می‌توانند آمونیاک را از نیوار جذب کرده، و ضمن کسب نیتروژن قابل‌استفاده برای میکروب‌های خاک و گیاه به زدودن آمونیوم از هوا مبادرت کنند. ممکن‌است جنگل‌ها بخش قابل‌توجهی

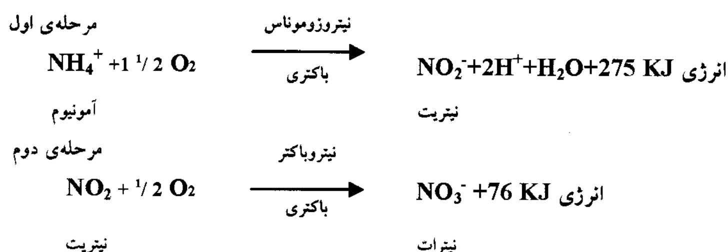
---

[1] -Hapludults(Bojac)
[2] -Paleudults(Dothan)
[3] -Hapludults(Groseclose)
[4] -Hapludults(Elioak)
[5] -Amonia volatilization
[6] -Amonia absorption

از نیازهای نیتروژن خود را به‌صورت آمونیاک حمل شده به‌وسیله‌ی باد از اراضی زراعی کود خورده و پرواربندی‌های گله‌های احشام واقع در فاصله چند کیلومتری جذب کنند.

۷-۱۳ نیتراتی شدن[1]

ین آمونیوم در خاک ممکن است به‌طور آنزیمی به‌وسیله‌ی باکتری‌های خاص اکسیده شده اول نیتریت و بعد نیترات تولید کند. این باکتری‌ها خودپرور می‌باشند زیرا انرژی خود را به جای ماده‌ی آلی از اکسایش آمونیوم به دست می‌آورند. فرایندی که نیتراتی‌شدن نامیده می‌شود (شکل ۳-۱۳ را مشاهده کنید) شامل دو مرحله پیاپی است. مرحله اول تبدیل آمونیوم به نیتریت به‌وسیله‌ی گروه خاصی از باکتری‌های خودپرور یعنی نیتروزوموناس[2] می‌باشد. درمرحله دوم بر روی نیتریت ایجاد شده گروه دوم از باکتری‌های خودپرور یعنی نیترو باکتر[3] به‌سرعت عمل می‌کند. اکسایش آنزیمی سبب آزادشدن انرژی شده و ممکن است به‌طور ساده به شکل زیر معرفی شود:



تا زمانی که شرایط برای هر دو واکنش مساعد باشد، مرحله‌ی دوم برای جلوگیری از تجمع نیتریت به‌سرعت به‌دنبال خواهد آمد، و این جای خوشبختی است زیرا نیتریت در غلظت‌های اندک، حتی چند ppm برای اکثر گیاهان و پستانداران سمی می‌باشد.

بدون توجه به منبع آمونیوم (کودهای شیمیایی ایجادکننده آمونیاک، لجن فاضلاب –کود دامی و یا هرمنبع آلی دیگر)، نیتراتی‌شدن سبب افزایش اسیدیته خاک با تولید ۲ ین هیدروژن از هر مولکول آمونیوم می‌شود. در مناطق مرطوب، مواد آهکی برای جلوگیری از اسیدیته ایجاد شده باید مصرف گردد (فصل ۹).

شرایط خاک مؤثر در نیتراتی‌شدن

باکتری‌های تولیدکننده نیترات درمقایسه با گروه گسترده موجودات ناخودپرور مسوول آزادسازی آمونیاک از ترکیبات آلی نیتروژن (آمونیاکی شدن) به شرایط محیطی حساس‌تر می‌باشند، به‌طور مختصر، بعضی از شرایط خاک را که در نیتراتی‌شدن مؤثرند مورد ملاحظه قرار می‌دهیم.

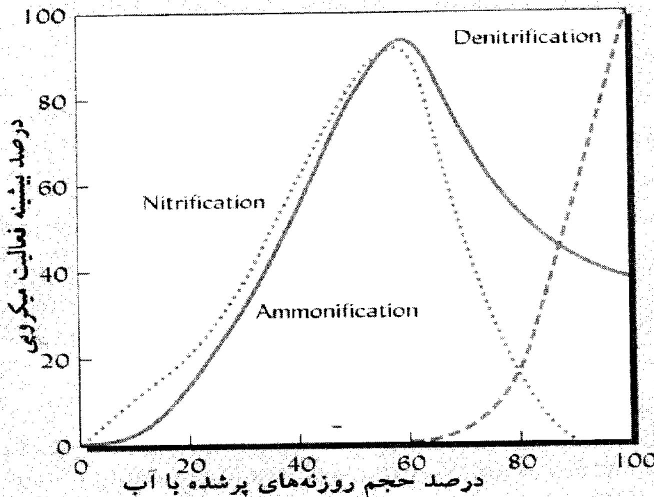
میزان آمونیاک : نیتراتی‌شدن تنها درصورت وجود آمونیوم برای فرسایند اکسایش تحقق می‌یابد. ممکن است نسبت $^C/_N$ زیاد که از آزادشدن آمونیوم ممانعت می‌کند، نیتراتی‌شدن را محدود کند. مقدار گاز آمونیاک زیاد می‌تواند از نیتراتی‌شدن ممانعت کند. ممکن است غلظت بالای کود اوره و آمونیاک خشک در خاک‌های قلیایی NH_3 را چنان بالا ببرد که برای نیتروباکتر سمی باشد. بدون وجود باکتری‌های فعال نیتروباکتر نیتریت ممکن است در مقادیر سمی تجمع یابد.

تهویه‌ی خاک : موجودات مسوول نیتراتی‌شدن هوازی و نیازمند اکسیژن برای تولید NO_2^- و NO_3^- می‌باشند. بنابراین، تهویه و زه‌کشی سبب ارتقای نیتراتی‌شدن می‌شود، خاک‌ورزی متوسط سبب تهویه گشته و خاک را گرم‌تر کرده، و نیتراتی‌شدن را افزایش می‌دهد. برعکس در نظام کمینه خاک‌ورزی[4] مقدار نیتراتی‌شدن به‌دلیل تهویه ناقص کمتر از حالتی است که شخم و شیاری انجام گیرد.

رطوبت : نیتراتی‌شدن در شرایط رطوبت بالا و پایین خاک متوقف می‌شود (شکل۴-۱۳). بهینه رطوبت برای نیتراتی‌شدن همانند بهینه رطوبت برای رشد گیاهان عالی می‌باشد(۶۰ درصد از منافذ از آب پر باشند). هرچند وقتی رطوبت خاک نزدیک نقطه پژمردگی دایم(PWP)[5] ، باشد که برای گیاهان عالی بسیار خشک است، مقدار قابل‌توجهی نیتراتی‌شدن انجام می‌گیرد.

---

[1] -Nitrification
[2] -*Nitrosomonas*
[3] -*Nitrobacter*
[4] -Minimum tillage
[5] -Permanent wilting point



شکل ۴-۱۳ درصد خلل‌وفرج مملو از آب به‌دلیل این‌که تعادل بین اکسیژن و آب را مشخص می‌سازد، در ارتباط نزدیک با نیتراتی‌شدن، آمونیاکی‌شدن، و نیترات‌زدایی می‌باشد. توجه داشته باشید که آمونیاکی‌شدن در خاک‌هایی که برای نیتراتی‌شدن فعال، خیلی مرطوبند می‌تواند ادامه داشته باشد. هم‌پوشانی بسیار کمی در شرایط مناسب برای نیتراتی‌شدن و نیترات‌زدایی وجود دارد.

منبع کربن : باکتری‌های مسوول نیتراتی‌شدن از CO_2 و HCO_3 به‌عنوان منابع کربن برای بازسازی اجزاء یاخته‌ای خود استفاده می‌کنند، چون خودپرور بوده و به ماده‌ی آلی به‌عنوان منبع کربن و انرژی نیاز ندارند.

دما : مطلوب‌ترین دما در فاصله ۳۵ –۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد است. وقتی خاک‌ها خنک هستند نیتراتی‌شدن کُند است و در کمتر از ۵ درجه‌ی سانتی‌گراد عملاً متوقف می‌شود. اگر کود آمونیوم در اول بهار در خاک مصرف شود نیتراتی‌شدن و قابل‌استفاده‌بودن تا گرم‌شدن خاک در آخر فصل به تأخیر می‌افتد. میزان نیتراتی‌شدن همچنین در دمای بالاتر از ۳۵ درجه‌ی سانتی‌گراد کاهش و در دمای بالاتر از ۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد اساساً متوقف می‌شود.

کاتیون‌های قابل‌تبادل بازی و pH : هرچه کاتیون‌های بازی بیشتر باشند، نیتراتی‌شدن بیشتر به‌پیش خواهد رفت. نیاز به این کاتیون‌ها تا حدی مربوط به نیتراتی‌شدن آهسته در خاک‌های معدنی اسیدی و تا حدی حساسیت مشهود ریز موجودات به pH پایین می‌باشد. هرچند، در حدود و ثغور معقول به‌نظر می‌رسد که اسید خود درصورت وجود کاتیون‌های بازی به‌مقدار کافی تاثیر اندکی بر نیتراتی‌شدن داشته باشد. این مسأله به‌خصوص در خاک‌های پیت‌زار صادق است. در خاک‌های پیت‌زار اگر مقدار Mg^{2+} و Ca^{2+} کافی باشد حتی در pH کمتر از ۵ نیز ممکن‌است تجمع نیترات مشاهده شود.

کودها: نیاز عناصر غذایی موجودات مسوول نیتراتی‌شدن همانند گیاهان عالی می‌باشد. درنتیجه، نیتراتی‌شدن در حضور عناصر اساسی به‌مقدار کافی تقویت می‌شود

آفت‌کش‌ها: موجودات مسوول نیتراتی‌شدن به بعضی آفت‌کش‌ها حساس می‌باشند، و درصورت افزودن آن‌ها در مقادیر زیاد، بسیاری از این مواد شیمیایی نیتراتی‌شدن را در سطح زیاد تا سطح کم محدود می‌کند. گرچه بسیاری از مطالعات اعلام کرده‌اند که در مقادیر معمول مزرعه، اکثر آفت‌کش‌ها دارای کمترین اثر بر نیتراتی‌شدن می‌باشند.

نوع رس: رس‌های اسمکتیت و آلوفان، به‌خاطر تثبیت ترکیبات آلی، سبب کاهش نیتراتی‌شدن می‌گردند. ترکیبات آلی دارای نیتروژن با سطح رس‌ها وارد پیوند شده و یا در منافذ ریز بین میسل‌ها قرار گرفته و بنابراین از حمله‌ی میکربی در امان می‌مانند.

محدودکننده‌های نیتراتی‌شدن:در سال‌های اخیر ترکیباتی پیدا شده‌اند که سبب توقف و یا کندشدن فرایند نیترات‌سازی می‌گردند. بنابراین، توان آبشویی نیترات را کاهش می‌دهند. این ترکیبات و همچنین دیگر آن‌ها که انحلال اوره را به‌تأخیر می‌اندازند، در تابلو ۲-۱۳ موردبحث قرارگرفته‌اند.

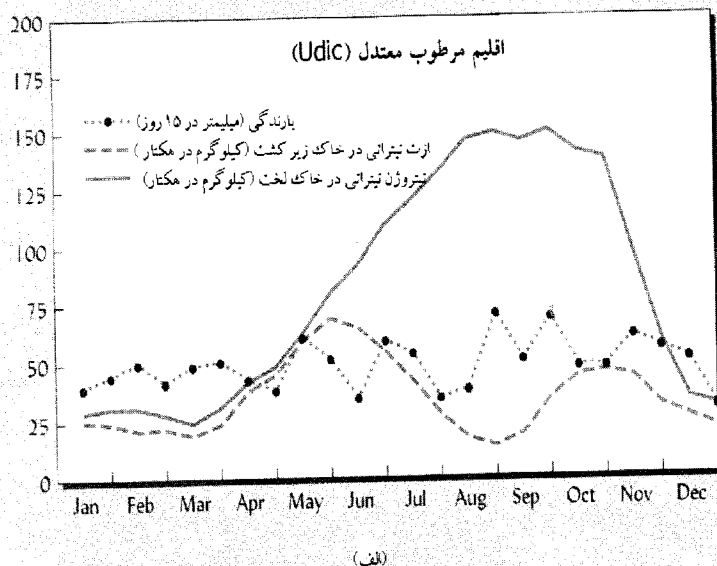
درصورت مناسب‌بودن شرایط، نیتراتی‌شدن چنان سریع است که نیترات غالب‌ترین شکل نیتروژن در اکثر خاک می‌باشد. آبیاری خاک تفتیده‌ی یک منطقه‌ی خشک، باران اولی، که بعد از یک فصل خشک طولانی در مناطق حاره نازل می‌شود، ذوب‌شدن و گرم‌شدن سریع خاک‌های یخ‌زده در بهار، و تهویه ناگهانی به‌وسیله‌ی خاک‌ورزی، نمونه‌هایی از نوسانات محیطی هستند که سبب عرضه‌ی مقدار زیادی نیترات می‌شوند (شکل ۵-۱۳). شیوه‌های رشد پوشش طبیعی و تاریخ کشت بهینه برای زراعت‌ها معمولاً تحت تاثیر این تغییرات فصلی در میزان نیترات می‌باشند.

۸-۱۳ مسأله‌ی آبشویی نیترات

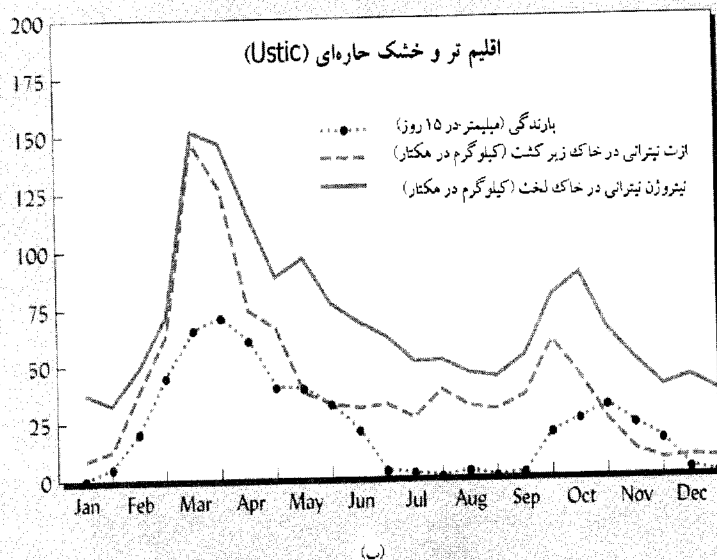
برخلاف یون‌های آمونیوم که دارای بار مثبت می‌باشند، یون‌های نیترات دارای بار منفی جذب کلوییدهای دارای بار منفی غالب در اکثر خاک‌ها نمی‌شود. بنابراین یون‌های نیترات به آزادی با زهاب به پایین خاکرخ حرکت می‌کنند، و به آسانی از خاک آبشویی می‌شوند. هدررفت نیتروژن به این طریق به دو دلیل مورد توجه می‌باشد: (۱)این هدررفت معرف تهیدست‌شدن (فقیرشدن) بوم‌سامان، چه در آن کشت گیاهان انجام شده باشد و چه انجام نگرفته باشد (۲) آبشویی نیترات سبب ایجاد مسائل حاد زیست‌محیطی می‌گردد.

کاهش توان تولید

توان تولیدی بوم‌سامان نه‌تنها به خاطر هدررفت نیتروژن تحت تأثیر قرار می‌گیرد، بلکه آبشویی نیترات از منابع اسیدی (نیتراتی‌شدن و یا باران‌های اسیدی) سبب تسهیل هدررفت کلسیم و سایر کاتیون‌های غذایی می‌شود. هر دو نوع هدررفت عناصر غذایی معمولاً سبب کاهش توان تولید بوم‌سامان می‌شود (فصل۱۴-۱۳ را نیز مشاهده کنید). در مدیریت اراضی نیز یک هدررفت اقتصادی، مساوی با ارزش نیتروژن ازدست‌رفته، وجود خواهد داشت.



(الف)



(ب)

شکل ۵-۱۳ شیوه‌ی غلظت فصلی نیترات در خاک‌ها معرف سطحی با و بدون گیاهان. منحنی بالایی (الف) معرف یک خاک در منطقه گرم معتدل با زمستان‌های سرد است که بارندگی در طول سال به‌طور یکنواخت توزیع شده است. نیترات به‌محض گرم‌شدن خاک در ماه مه و ژوئن تجمع می‌یابد اما در اثر آبشویی در پاییز از دست می‌رود. منحنی پایین معرف یک خاک در یک منطقه گرمسیری با یک فصل فرعی و اصلی بارانی که از همدیگر با چند ماه هوای خیلی خشک تفکیک می‌شوند. مهم‌ترین چهره قابل‌توجه طغیان نیترات است که وقتی باران اول بار خاک را بعد از فصل خشک طولانی مرطوب می‌کند ظاهر می‌شود. این سیلان نیترات در اثر تجزیه سریع و معدنی‌شدن یاخته‌های مرده ریزجاندارانی است که قبلاً به‌وسیله‌ی هوای خشک گرم کشته شده بودند. توجه کنید وقتی گیاه کشت می‌شود، میزان نیترات در هر دو اقلیم کم است زیرا اکثر نیترات تشکیل شده به‌وسیله‌ی جذب گیاه از خاک بیرون می‌رود.

تابلو ۲-۱۳ تنظیم نیتروژن محلول با فناوری کودهای شیمیایی

شاید پرچالش‌ترین جنبه اداره‌ی نیتروژن تنظیم اشکال محلول این عنصر پس از ورود آن به خاک باشد. قابلیت استفاده در زمان خاص و در مقدار مناسب با کمینه مقدار هدررفت، هدف آرمانی است. حتی وقتی کودهای شیمیایی برای تأمین بیشتر نیتروژن مصرف می‌شود، نگهداری یک مقدار کافی اما نه زیاد نیتروژن قابل‌استفاده کاری ساده نیست. تقسیط مصرف کود شیمیایی راهی برای دست‌یابی به این هدف است. این فن شامل تقسیم مصرف نیتروژن در مقادیر کمتر در مراحل مختلف رشد گیاهی به‌جای تمام کود درهنگام کشت و یا قبل از آن می‌باشد. در خاک‌های شنی و یا در جایی‌که آبیاری و بارندگی در اول فصل بالاست، مصرف تمام نیتروژن در زمان کشت سبب آبشویی بیشتر نیتروژن به زیر منطقه انتشار ریشه پیش از این‌که نبات فرصت استفاده را از آن داشته باشد، خواهد گردید. در مناطقی با بارندگی زیاد درطول زمستان، مهم این‌است که از باقی‌گذاشتن مقادیر زیاد نیتروژن محلول در داخل خاک پس از کامل‌شدن رشد نبات باید اجتناب کرد.

محدودکنندهای نیتراتی‌شدن: به‌دلیل این‌که آمونیاک بسیار کمتر از نیترات به هدررفت آبشویی و یا نیترات‌زدایی حساس است، در صورت کندنمودن نیتراتی‌شدن آمونیوم موجود در کودها تا آماده‌شدن گیاه برای استفاده از نیتروژن، مصرف کودهای شیمیایی ممکن است بسیار مؤثرتر گردد. برای تحقق این امر شرکت‌های شیمیایی ترکیباتی ارائه نموده‌اند که محدودکننده‌های نیتراتی‌شدن نام داشته و سبب محدودیت فعالیت باکتری نیتروزوموناس می‌شود که آمونیوم را در اولین مرحله نیتراتی‌شدن به نیتریت تبدیل می‌کند (توجه داشته باشید که مواد شیمیایی که سبب محدودیت نیتروباکتر شود مفید نیست، زیرا سبب تجمع نیتریت سمی خواهد شد). سه محدودکننده نیتراتی‌شدن تجاری عبارتنداز دی‌سیانودی‌آمید[1]، نیتراپیرین[2] و اتری‌دیازول[3] که وقتی با کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار مخلوط شوند، این مواد به‌طور موقت از تولید نیترات جلوگیری خواهند کرد. کلمه کلیدی، در این موقتی‌بودن اثر است، زیرا وقتی شرایط برای نیتراتی‌شدن مناسب باشد، محدودیت فقط برای چند هفته ادامه خواهد داشت (اگر دمای خاک بیش از ۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد باشد مدت محدودیت کمتر خواهد بود). تحقیقات نشان داده‌اند که این مواد هزینه خود را با بهبود کارآیی مصرف کود، وقتی که شرایط برای هدررفت کود براثر آبشویی خاکرخ و یا نیترات‌زدایی فراهم باشد، تأمین خواهند کرد. بنابراین، محدودکننده‌های نیتراتی‌شدن عمدتاً در سالهای نسبتاً مرطوب در خاک‌های شنی (با کاهش آبشویی) و در خاک‌ها با زه‌کشی ناقص (با کاهش نیترات‌زدایی) ارزشمند خواهد بود.

کودهای شیمیایی کند آزادکننده‌ی نیتروژن: استفاده از کودهای شیمیایی کند آزادکننده روش دیگری برای کاهش هدررفت نیتروژن از خاک‌های کودخورده می‌باشد. برخلاف اکثر کودهای معدنی، این مواد نیتروژن محلول را به آهستگی در خاک آزاد می‌سازد. بنابراین قابلیت استفاده نیتروژن با جذب آن به‌وسیله‌ی گیاه همزمان می‌شود. بعضی از مواد آلی تثبیت‌شده مانند کمپوست و لجن فاضلاب هضم‌شده (مثلاً میل ارگانیت[4]) برای این منظور به‌کار می‌روند. هرچند اکثر کودهای شیمیایی کند آزادکننده نیتروژن با عمل‌آوردن اوره به‌وسیله‌ی موادی‌که انحلال آن‌را کند کرده، و یا از آبکافت آن به آمونیوم ممانعت می‌کنند مانند فورمالدیید اوره[5]، ایزوبوتیلیدن‌دی‌اورا[6]، کودهای شیمیایی با پوشش رزین (اوسموکت[7]) و اوره با پوشش گوگردی* ساخته می‌شوند، تماماً نمونه‌هایی از کودهای شیمیایی کند آزاد کننده نیتروژن می‌باشند. در مورد کود آخری میزان گوگرد (۱۰ تا ۲۰درصد) در مواردی که گوگرد خاک پایین باشد ممکن است یک مزیت بوده (بخش۱۷-۱۳) و یا وقتی اسیدیته اضافی ایجادشده به‌وسیله‌ی گوگرد (فصل۲۱-۱۳) نامطلوب باشد، یک مشکل خواهد بود. به‌دلیل هزینه‌های ساخت اضافی و میزان نیتروژن کمتر، قیمت کودهای شیمیایی کند آزادکننده نیتروژن ۱/۵ (برای اوره با پوشش گوگردی) تا ۴ برابر اوره معمولی در واحد نیتروژن می‌باشد. با وجود این مصرف مواد دیر آزادکننده برای تولید نباتات پرارزش، که قیمت کود یک مسأله حاد نمی‌باشد (سبزی‌های خاص، چمن و گیاهان زینتی) و برای موقعیت‌های خاص که در آن هدررفت نیتروژن در اوره بسیار بالاست (برنج‌زارها) عملی می‌باشد. این کودها در چمن زمین گلف به‌طور گسترده مصرف می‌شوند، زیرا آن‌ها سبب سوختن چمن، ناشی از کود نشده و مصرف آسان‌تر مقادیر اندک کود را ممکن می‌سازد. مصرف یک‌جای نیتروژن محلول سالانه در چمن ممکن است سبب هدررفت ۱۰ تا ۵۰ درصد نیتروژن مصرف شده به‌وسیله‌ی آبشویی گردد، درحالی‌که درصورت مصرف کودهای دیر آزادکننده نیتروژن این هدررفت به ۳ درصد و یا کمتر خواهد رسید.

---

1 -Dicyandiamide(DCD)
2 -Nitrapyrine (N- serve®)
3- Etridiazol(Dwell®)
4 -Milorganite
5-Urea formaldehyde
6- Isobutylidene diurea (IDBU)
7- Osmocote®

* اوره باپوشش گوگرد نباید در برنج‌زارهای غرقابی مصرف شود، زیرا آهن احیاء شده در غرقاب با پوشش گوگرد ترکیب شده و FeS غیرمحلول می‌دهد که سبب قفل‌شدن نیتروژن کود می‌شود.

اثرات زیست‌محیطی

مسایل زیست‌محیطی که به‌وسیله‌ی نیتروژن ایجاد می‌شود، عمدتاً در ارتباط با حرکت آن از طریق زهاب به آب زیرزمینی می‌باشد. ممکن است زهاب به چاه‌های خانگی رسیده و نهایتاً با جریان‌های زیرزمینی به آب‌های سطحی مانند نهرها، دریاچه‌ها و خلیج‌ها برسد. نیترات ممکن است سبب آلودگی آب آشامیدنی و غنی‌سازی[1] و مسائل همراه آن گردد (تابلو ۳-۱۳).

میزان نیترات ازدست‌رفته در زهاب وابسته به دو عامل اساسی است: (۱) میزان آبشویی از داخل خاک، (۲) غلظت نیترات در آن زهاب. میزان بارندگی و آبیاری، همراه با بافت و ساختمان خاک در میزان آبشویی مؤثرند. خاک‌های شنی در مناطق مرطوب مخصوصاً به آبشویی نیترات حساس می‌باشند. درصورتی‌که چنین هدررفت نیترات در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک بدون آبیاری معمولاً خیلی پایین می‌باشد. ممکن است آبشویی براثر استفاده از نظام‌های خاک‌ورزی حفاظتی تشدید گردد، این نظام‌ها نفوذ آب را افزایش و درنتیجه آبشویی و هدررفت بیشتر نیترات‌ها را به‌دنبال خواهند داشت.

غلظت نیترات‌ها در زهاب در ارتباط با تعادل و زمان‌بندی ورودی‌ها و خروجی‌های نیتروژن از خاک، نرخ نیتراتی‌شدن، و برداشت نیترات از محلول خاک می‌باشد. در بعضی از بوم‌سامان‌های جنگلی بالغ به یک تعادل نزدیک بین جذب نیتروژن و برگشت آن در لاشبرگ ریزش‌کرده و درختان مرده، دست‌یابی یافته‌اند، آب زیرزمینی کمتر از یک میلی‌گرم در لیتر نیترات دارد. هرچند ورودی‌های نیتروژن در نیوار (مثلاً نیترات در باران‌های اسیدی و یا تثبیت نیتروژن) و به‌هم‌خوردن بوم‌سامان (برداشت الوار) می‌تواند بار زیادی در بوم‌سامان جنگل ایجاد نماید، که هدررفتی تا ۳۰-۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار را در آبشویی سالانه به‌دنبال داشته باشد.

هدررفتهایی حتی بیشتر از این در نظام کشاورزی، که در آن‌ها مقادیر توزیع نیتروژن به‌طور مرتب از مقدار برداشت شده براثر جذب گیاه و برداشت محصول بیشتر است، ممکن‌است حاصل شود. کوددادن سنگین نیتروژن (که مخصوصاً برای سبزی‌ها و سایر گیاهان پرارزش معمول است) ممکن‌است از آن‌چه گیاهان قادر به مصرف آن هستند، فزونی گیرد و می‌تواند دلیل عمده‌ای بر آبشویی فراوان نیترات باشد(شکل۶-۱۳).

مدیریت غیرکارای کود دامی در مراکز تولید متمرکز دام یک علت معمول دیگر از آلودگی نیترات در آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌باشد. درصورت تلفیق با مصرف کود نیتروژنی، کود دامی می‌تواند بسیار بیشتر از میزان جذب نبات این عنصر را فراهم نموده و سبب آلودگی آب و نیوار گردد. [داده‌های آماری سه کشور اروپایی این نکته را تشریح می‌کنند](جدول ۲-۱۳). شگفت‌آور نخواهد بود که آب زیرزمینی کم‌عمق تحت بعضی شرایط دارای نیترات بیش از ۴۵ میلی‌گرم درلیتر (۱۰ میلی‌گرم نیتروژن درلیتر) باشد که حد قانونی آن برای آب شرب در آمریکا می‌باشد[2].

زمان مصرف نیتروژن مسأله‌ای بحرانی است. توان آلودگی آب زیرزمینی به‌وسیله‌ی نیترات وقتی بارندگی(و آبیاری) بالا بوده و در همان وقت میزان تبخیر و مصرف گیاهی پایین باشد، زیاد است. آخر پاییز، زمستان و اول بهار در اقالیم معتدل مرطوب و مدیترانه‌ای فصل‌هایی هستند که بیشترین هدررفت نیترات صورت می‌گیرد. مدیران خاک باید عملیاتی را انتخاب کنند که تولید نیترات را به کمینه مقدار و جذب گیاهی را در این دوره بحرانی به بیشینه مقدار برسانند. برای نمونه، درصورت عملی‌بودن باید از مصرف پاییزه کودهای شیمیایی و کود دامی پرهیز کرد. درحالی‌که کشت گیاهان پوششی زمستانه باید مورد حمایت قرار گیرد (بخش۲-۱۶ را مشاهده کنید).

مدیریت می‌تواند سبب کاهش هدررفت شود: حتی در مناطق با توان بالای آبشویی، مدیریت محتاطانه می‌تواند از هدررفت زیاد نیترات ممانعت کند. کودهای شیمیایی و کود دامی باید در میزان‌های متعارف در ارتباط با زمان نیاز گیاهان مصرف شود و نباید خیلی زودتر و یا خیلی دیرتر از زمان جذب خیلی شدید نبات به‌کار روند. اگر این‌کار از نظر اقتصادی موجه نباشد. سایر نباتات در تناوب، شامل گیاهان پوششی باید بلافاصله بعد از زراعت نقدی برای مصرف نیترات به مصرف نرسیده کشت شوند (شکل۶-۱۳ را مشاهده کنید). اگر این توصیه‌ها دنبال شوند، آبشویی نیترات به مقدار کمتر از ۵ درصد نیتروژن مصرف شده می‌رسد.

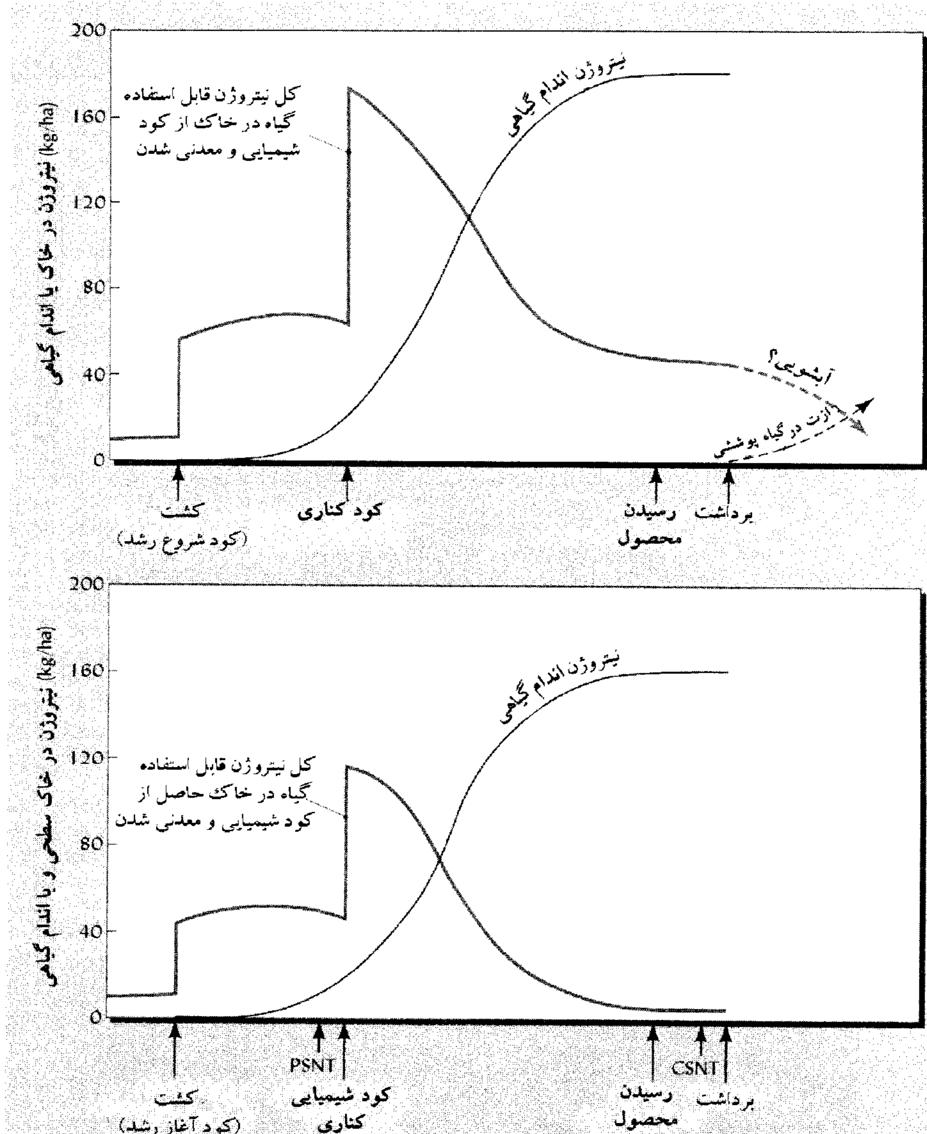
چرخه نیتروژن در مناطق گرم، مرطوب: اکثر نیتروژن معدنی‌شده در خاک‌های شدیداً هوازده‌ی اکسی‌سول و التی‌سول، قبل ازاین‌که نباتات یک‌ساله مانند ذرت از آن استفاده کنند به پایین‌تر از منطقه‌ی انتشار ریشه وارد می‌شوند. اخیراً متوجه شده‌اند که بخشی از این نیترات آبشویی‌شده به داخل آب زیرزمینی وارد نشده، بلکه در چندمتری عمق خاکرخ رس‌های خیلی آبشویی‌شده آن‌را به‌شکل آنیون جذب می‌کنند. درختان دارای ریشه عمیق می‌توانند این نیترات‌ها را جذب کرده و بعداً آن‌ها را با ریزش برگ‌های خود در غنی‌سازی خاک سطحی مصرف کنند. درختانی مانند Sesbania که در تناوب با گیاهان یک‌ساله کشت می‌شوند، می‌توانند از این مخزن نیتروژن آبشویی‌شده موجود برای

---

[1] -Eutriphication

[2] -بعضی‌مواقع، غلظت نیترات برحسب نیتروژن نیتراتی(NO_3-N) گزارش می‌شود. برای تبدیل میلی‌گرم نیترات/L(NO_3^-) به میلی‌گرم نیتروژن‌نیتراتی(NO_3^--N) آن‌را به ۴/۴ تقسیم کنید.

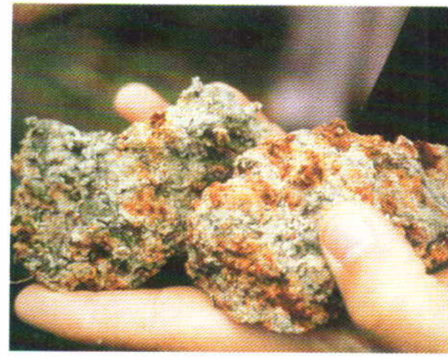
تولید محصولات استفاده کرده و از حرکت بیشتر آن‌ها به آب‌های زیرزمینی ممانعت کند (شکل۷-۱۳). عملیات جنگل-زراعی همانند آن‌چه گفته شد دارای توان زیادی برای کمک بسیار هم به تولید محصول و هم به بهبود کیفیت زیست‌محیطی در مناطق گرم حاره‌ای می‌باشد(بخش۹-۲۰ را مشاهده کنید).



شکل ۶-۱۳ دو نظام کود شیمیایی برای تولید ذرت در بخش غرب میانی امریکا. نظامی که از قبل معمول بوده است (شکل بالا) شامل مصرف خیلی زیاد نیتروژن و کشت پی‌درپی ذرت.این نظام با توجه به هدف تولیدکننده جهت برداشت حداکثر سود اقتصادی و اجتناب از کاهش عملکرد در اثر آبشویی نیتروژن و یا نیترات‌زدایی در طول دوره‌های پرباران می‌باشد. حداقل ۱۵۰ کیلو نیتروژن درهکتار مصرف می‌شود. بخشی به‌عنوان کود شروع‌کننده رشد قبل و یا درحین کشت، و بقیه به‌صورت کود نواری قبل از آغاز مرحله رشد شدید نبات. متاسفانه، وقتی نبات می‌رسد و برداشت می‌گردد اکثر نیتروژن محلول در خاک احتمالاً به‌شکل نیترات باقی میماند. اگر نیتروژن به‌وسیله‌ی نبات پوششی کشت شده در ذرت هنگام برداشت جذب نشود، نیتروژن در طول ماه‌های زمستان و بهار دچار آبشویی گشته و این سبب آلودگی آب زیرزمینی و سرانجام آب سطحی می‌شود. نظام سازگارتر با محیط زیست شامل تناوب زراعی از جمله گیاهان نیام‌دار با ذرت می‌باشد.و یا اگر ذرت پی‌درپی کشت می‌شود میزان مصرف نیتروژن بسیار کاهش یابد (عکس پایین). آزمون نیترات در خاک قبل از مصرف کودکناری(PSNT) برای تعیین میزان نیتروژن مورد نیاز انجام می‌شود در آخر فصل ازمون نیترات در ساقه ذرت(CSNT) برای ارزیابی وضعیت نیتروژن گیاه انجام می‌گردد. عملکرد نبات و سود اقتصادی حدوداً در هر دو نظام همانندند. اما، نیتروژن باقی‌مانده در خاک در هنگام برداشت ذرت پایین بوده و آلودگی نیتروژن به‌حداقل می‌رسد. ازت هدررفته به‌وسیله‌ی باران‌های سنگین در اول فصل می‌تواند با مصرف مقادیر اندک نیتروژن جبران گردد.



تابلو رنگی ۱۷: دره رود کانتکتی‌کت در غرب ماساچوست. به خاک های آبرفتی متنوع
نوارهای پشتی‌بان جنگلی حاشیه‌ی رودخانه (ریپارین) در کناره ها توجه کنید.



ر ۱۸: تمرکز نقاط اکسید احیایی، قرمز و خاکستری
E از یک خاک Aquic Paleudalf



ی ۱۹: رنگ های سبز - خاکستری از آهن ساختمانی احیاشده
ریشه ها در یک افق A از یک Aquic Hapludalf جنگلی
شرایط ماندابی است.



تابلو رنگی ۲۰: مناطق اکسایش‌یافته (قرمز) ریشه در افق‌های A
و E بیانگر یک خاک مرطوب است که در اثر انتشار اکسیژن به
خارج ریشه‌ی گیاهان باتلاقی که دارای بافت آرانشیم (مجاری هوا)
می‌باشند حاصل شده است.



تابلو رنگی ۲۱: تمرکز مواد تیره (سیاه) هموسی و نقاط خاکستری
تخلیه‌ی هموس در یک افق A بیانگر خاک مرطوب است. سطح
ایستابی در ۳۰ سانتی متری سطح خاک می‌باشد.



تابلو رنگی ۲۲: یک مزرعه‌ی ذرت دارای کمبود نیتروژن در خاک Udolls در مرکز ایلی‌نوی. آب ماندابی به دنبال یک بارش سنگین هدررفتن نیتروژن در اثر نیترات زدایی و آبشویی گردید.



تابلو رنگی ۲۳: سطح موم مانند یک قطعه از افق Bt از یک خاک التی‌سول، پوسته های رسی (ارجیلان) است. میله ۱ سانتی‌متر است.



تابلو رنگی ۲۵: مراحل اولیه‌ی تشکیل خاک از مواد لایروبی شده بندر بالتیمور. مواد سولفیدی (تیره)، زهاب اسیدی (مایع نارنجی)، تراکم نمک (پوسته‌ی سفید)، و آغاز ایجاد ساختمان منشوری (ترک ها)آشکار است.



تابلو رنگی ۲۴: هوادیدگی اسیدسولفات از Sulfudept سبب ایجاد ضایعات معدن پیریت شد افق سولفیدی تیره‌رنگ در زیر اکسایشی سولفید، است زهاب اسیدی شود، مقیاس برحسب دسی م



رنگی ۲۶: رودها به وسیله‌ی زهاب اسیدی معادن ذغال‌سنگ، حاصل از سولفوری‌شدن ک‌های ضایعات معدنی آلوده شده‌اند. اکسایش $FeSO_4$ و ترسیب اکسیدهای آهن در ، ها سبب ایجاد رنگ نارنجی شده است.



تابلو رنگی ۲۷: نهاده‌های فراوان نیتروژن و فسفر از مزارع بالادست سبب طغیان جلبکی شده و درنتیجه، این رود در دشت ساحلی کم سرعت به وسیله‌ی یک لایه‌ی سبز رنگ تسخیر گردد.



ی ۲۸: گیاهان ذرت معمولی (سمت چپ) مبود فسفر (سمت راست) به رنگ ارغوانی بوته توجه کنید.



تابلو رنگی ۲۹: خاک آهکی فرسایش یافته (Ustolls) با ذرت علوفه‌ای دارای کمبود آهن



تابلو رنگی ۳۰: کمبود روی در درخت هلو. به برگ‌های کوچک، بدشکل پیچیده توجه کنید.



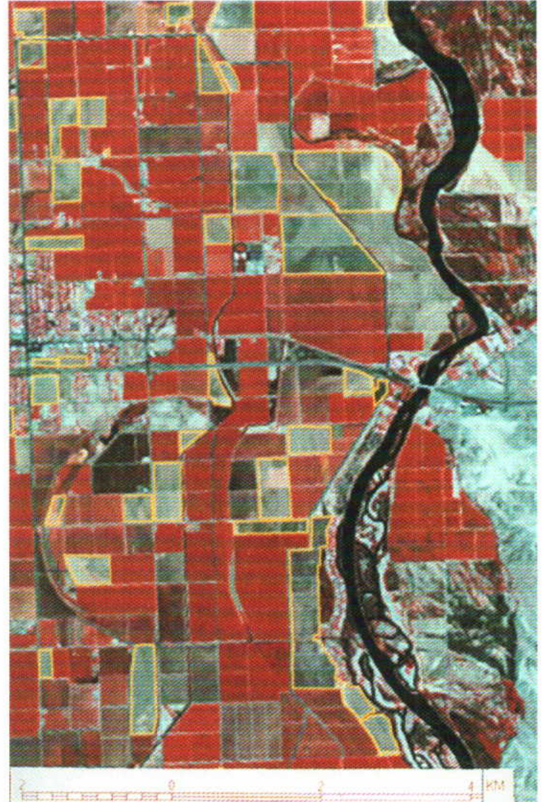
نگی ۳۱: کمبود روی برروی ذرت ، به نوارهای سفید پهن توجه کنید.



تابلو رنگی ۳۲: کمبود بُر در یونجه، به برگ های قرمز توجه کنید.



تابلو رنگی ۳۳: کاج دارای کمبود نیتروژن، درختان معمولی در پشت آن.



تابلو رنگی ۳۵: تصویر شماتیک لندست از طرح زه‌کشی دره‌ی پالوورده در کالیفرنیا رنگ‌های مرکب از باندهای ۴،۳،۲ به دست آمد، پوشش متمرکز قرمز براق به نظر می رسد. صفحه‌ی ۷۷۶ را مشاهده کنید.



تابلو رنگی ۳۴: تصویر شماتیک لندست از واشنگتن، دی.سی. (بالاترین قسمت سمت چپ) و رود پتامیک پررسوب (مرکز). تصویر مرکب از رنگ‌های طبیعی صفحه‌ی ۷۷۶ را مشاهده کنید.

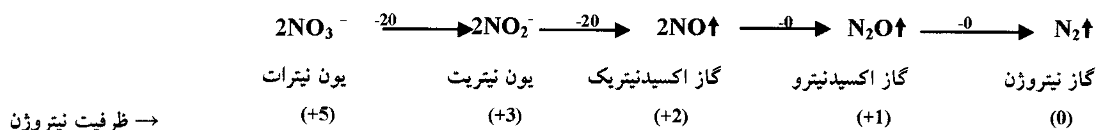
تابلو ۳-۱۳ سلامت انسان و اثرات آبشویی نیترات بر محیط‌زیست

درصورت استفاده از آب زیرزمینی و یا آب سطحی برای آشامیدن، نیترات دارای توان لازم برای ایجاد اثرات سمی می‌باشد. متموگلوبینمیا[۱]، که به آن سیندرم بچه آبی نیز میگویند، وقتی صورت می‌گیرد که باکتری‌های خاص در روده نشخوارکنندگان و نوزادان انسان نیترات خورده شده را به نیتریت تبدیل کند. نیتریت سپس در توانایی خون برای انتقال اکسیژن مزاحمت ایجاد میکند. خون بدون اکسیژن قرمز نیست و نوزادان با این شرایط دارای رنگ آبی در پوست خود می‌شوند. گرچه مرگ انسان براثر متموگلوبینمیا بسیار نادر است، سازمان‌های ناظر در اکثر کشورها میزان نیترات مجاز در آب آشامیدنی را به نصف آن‌چه سبب ایجاد مسمومیت می‌گردد، محدود کرده‌اند. در آمریکا محدودیت برای نیترات ۴۵ میلی‌گرم در لیتر (۱۰ میلی‌گرم در لیتر نیتروژن در شکل نیترات) و در اروپا استاندارد ۵۰ میلی‌گرم نیترات در لیتر می‌باشد. باید توجه داشت که به مقدار نیترات در جیره‌ی غذایی (آب و سایر منابع مانند کنسرو گوشت) در رابطه با بازسازی ترکیبات نیترو ایجادکننده سرطان روده بزرگ مشکوک می‌باشند. هرچند شواهد مربوط به این ارتباط در حال حاضر ضعیف است.

مسأله‌ی گسترده‌تر درارتباط با کیفیت آب و نیترات، تخریب نظام‌های بوم‌سامان آبی، به‌خصوص دریاچه‌ها می‌باشد که اغلب دارای کمبود نیتروژن می‌باشند. نیترات همراه با سایر اشکال نیتروژن و فسفر از منابع مختلف به محض رسیدن به آبهای سطحی منجر به مسأله‌ی غنی‌شدن می‌شود. غنی‌شدن ممکن است سبب رشد توده‌های بزرگی از جلبک‌ها گردد که گونه‌هایی خاص از آنها مزه‌ها و سمیت‌هایی ایجاد کرده و آب را برای آشامیدن نامناسب می‌سازند. تخلیه اکسیژن حل‌شده که به‌دنبال مرگ جلبک‌ها و تجزیه آن‌ها صورت می‌پذیرد، به‌شدت بوم‌سامان آبی را تخریب می‌کند و سبب مرگ ماهی‌ها و سایر موجودات آب‌زی می‌شود. این موضوع در بخش ۲-۱۴ موردملاحظه قرارخواهدگرفت.

۹-۱۳ هدررفت گازی نیتروژن براثر نیترات‌زدایی

فرایندی که براثر آن نیترات پس از ورود در یک رشته از واکنش‌های زیست شیمی احیاء و به اشکال گازی نیتروژن تبدیل می‌گردد، نیترات‌زدایی نامیده می‌شود که سبب هدررفت نیتروژن به نیوار می‌گردد. موجوداتی که این فرایند را انجام می‌دهند فراوان بوده و معمولاً باکترهای غیرهوازی انتخابی مربوط به جنس‌های سدوموناس[۲]، باسیلیوس[۳]، میکروکوکوس[۴] و اکروموباکترها[۵] می‌باشند که ناخودپرور بوده و کربن و انرژی خود را از اکسایش ماده‌ی آلی به‌دست می‌آورند. سایر باکتری‌های مسوول نیترات‌زدایی خودپرور می‌باشند، مانند تیوباسیلیوس[۶] که انرژی خود را از اکسایش گوگرد به‌دست می‌آورد[۷]. سازوکار دقیق بسته به شرایط و موجودات درگیر متغیر است، در واکنش، $[N(V)]NO_3^-$ در مراحل مختلف به $[N(III)]NO_2^-$ و سپس به گازهای نیتروژن که شامل $[N(II)]NO$ و $[N(I)]N_2O$ و سرانجام به $[N(0)]N_2$ تبدیل می‌شود.



گرچه در واکنش ساده فوق نشان داده نشده است، اکسیژن آزادشده در هر مرحله می‌تواند برای ایجاد CO_2 از کربن آلی (ویا SO_4^{-2} از سولفید وقتی تیوباسیلیوس عامل نیتراتی‌شدن باشد) مورد استفاده قرارگیرد.

شرایطی که برای نیترات‌زدایی به‌طور عمده لازم است. می‌تواند به‌صورت زیر خلاصه شود:

۱-نیترات به اندازه کافی وجود داشته باشد.

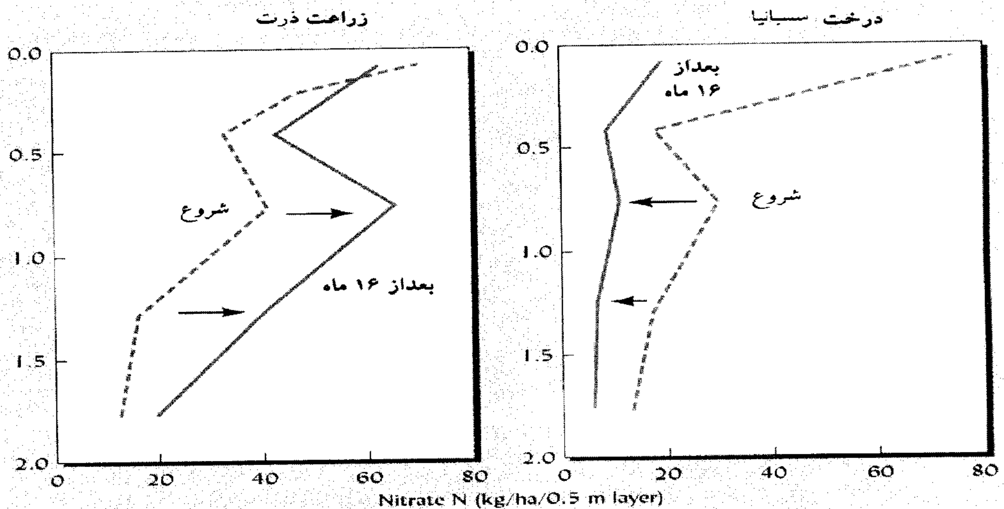
۲- ترکیبات آلی، با سهولت تجزیه (و یا ترکیبات گوگردی احیا شده) برای تأمین انرژی وجود داشته باشد.

1- Methemoglobinemia
2 -*Pseudomonas*
3 -*Bacillus*
4 -*Micrococcus*
5 -*Achromobacter*
6 -*Thiobacillus denitrificans*
7 - نیترات می‌تواند به‌وسیله‌ی واکنش های شیمیایی غیرزیستی به گاز نیتریت و اکسید نیترو تبدیل شود اما در مقایسه به واکنش های زیست‌شیمی کم اهمیت میباشد.

۳ – هوای خاک دارای کمتر از۱۰٪ اکسیژن و یا آب دارای کمتر از ۰/۲ میلی‌گرم اکسیژن در لیتر باشد. نیترات‌زدایی درصورت نبود اکسیژن به‌طورکامل به سرعت به پیش می‌رود. نیاز نسبت که تمام خاک غیرهوازی باشد، زیرا موضع‌های دارای اکسیژن اندک در وسط خاکدانه در یک خاک با تهویه خوب می‌تواند محیط غیرهوازی ایجاد کند

۴– دمای بهینه ۳۵ – ۲۵ درجه سانتی‌گراد باشد، گرچه فرایند از دمای ۲ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌تواند صورت گیرد.

۵– اسیدیته خیلی شدید ($pH < ۵$) از نیترات‌زدایی سریع جلوگیری کرده و سبب می‌گردد N_2O محصول نهایی غالب باشد.



شکل ۷-۱۳ عمق انتشار نیترات در یک خاک اکسی‌سول در کشور کنیا قبل‌از کشت ذرت، و درخت سریع‌الرشد سسبانیا(شروع) و بعداز ۱۶ ماه کشت ۳ محصول ذرت با مصرف کود و همچنین ۱۶ ماه پس از رشد سسبانیا توجه کنید که سسبانیا نیترات را تا عمق حدود ۲ متر کاهش داده است. مطالعات دیگر ریشه نشان داد که ۳۱ درصد ریشه سسبانیا در عمق ۲/۵ تا ۴ متر قرار دارد.

معمولاً وقتی میزان اکسیژن خیلی پایین باشد محصول نهایی که از کل فرایند نیترات‌زدایی آزاد می‌شود گاز دی‌نیتروژن N_2 است. باید توجه داد که NO و N_2O معمولاً در طول نیترات‌زدایی در شرایط تهویه پرنوسان، که اغلب در مزرعه وجود دارد ایجاد می‌شوند (شکل۸-۱۳). به‌نظر می‌رسد نسبت تولید سه گاز اصلی تحت سیطره pH، دما، میزان تخلیه اکسیژن و غلظت یون‌های نیترات و نیتریت موجود باشد برای مثال وقتی غلظت نیترات و نیتریت بالا بوده و تأمین اکسیژن خیلی پایین نباشد سبب آزادشدن اکسید نیترو (N_2O) خواهد بود. در شرایط بسیار اسیدی تمام هدررفت به‌صورت N_2O می‌باشد. هدررفت به شکل اکسید نیتریک (NO) معمولاً اندک بوده و ظاهراً در شرایط اسیدی بسیار آسان صورت می‌گیرد.

آلودگی نیوار

گاز دی‌نیتروژن (N_2)کاملاً بی‌اثر بوده و از نظر محیطی بی‌خطر می‌باشد اما اکسیدهای نیتروژن گازهای پرواکنش بوده و دارای توان ایجاد صدمات محیطی از چهار طریق زیر می‌باشد.

۱– NO و N_2O آزادشده براثر نیترات‌زدایی می‌توانند اسیدنیتریک تشکیل دهندکه یکی ازاجزای باران‌های اسیدی است.

۲– گازهای اکسید نیتروژن می‌توانند با آلاینده‌های آلی فرار واکنش انجام داده و اُزُن سطحی[1] تولید می‌کنند که یکی از آلاینده‌های هوا و دود نورشیمی[2] می‌باشد که بسیاری از مناطق شهری را به ستوه آورده است.

۳– NO به نیوار فوقانی صعود کرده با جذب اشعه مادون قرمز به اثرات گلخانه‌ای کمک خواهد نمود(بخش ۲-۱۲)، در نبود NO اشعه به فضای خارج جو فرار خواهد کرد. اثر گلخانه‌ای NO ۳۰۰ بار از CO_2 در مقادیر مساوی بیشتر است.

۴– مهم‌تر از همه این‌که وقتی N_2O به نیوار صعود می‌کند می‌تواند در واکنش‌هایی که در تخریب اُزُن گازی O_3 (که همانند سپری کره‌ی زمین را از اشعه مرگ‌بار ماورای بنفش خورشیدی محافظت می‌کند) شرکت کند. این لایه در سال‌های اخیر به‌دلیل واکنش با CFCهای[3] صنعتی و

1 -Ground level ozone
2 -Photochemical smog
3 -Chloroflorocarbohydrates

همین‌طور با N_2O وسایر گازها مقداری تخلیه گردیده است و براثر تخریب بیشتر هرساله این لایه سبب بروز سرطان‌های پوستی ظهور خواهد شد. درحالی‌که منابع مهم دیگری از N_2O مانند دود حاصل از اگزوز اتومبیل‌ها وجود دارد، تقویت این منبع عمدتا به‌وسیله‌ی نیترات‌زدایی درخاک به‌خصوص در شالیزارها، اراضی ماندابی و خاک‌های زراعی با معرف سنگین کود شیمیایی و کود دامی انجام می‌شود.

مقدار هدررفت نیتروژن در فرایند نیترات‌زدایی

همان‌طورکه باید انتظار داشت، برآورد مقدار واقعی هدررفت حاصل از نیترات‌زدایی مشکل، و در ارتباط با عملیات مدیریتی و شرایط خاکی است. مطالعات بوم‌سامان جنگلی نشان داده‌اند که در دوره‌های با رطوبت کافی خاک، نیترات‌زدایی سبب هدررفت نسبتاً یکنواخت اما آرام نیتروژن از این نظام طبیعی دست‌نخورده شده است. برعکس، اکثر اندازه‌گیری‌های هدررفت نیتروژن گازی در خاک‌های زراعی مشخص کرده است که، هدررفت در زمان و مکان بسیار متغیر است. بخش بزرگی از هدررفت سالانه نیتروژن درست در طول چند روز در تابستان صورت می‌گیرد؛ که باران‌های سنگین سبب می‌شوند که خاک گرم دارای تهویه ضعیف گردد (شکل۹-۱۳).

اراضی پست غنی از ماده‌ی آلی و سایر نقاط گرم ممکن است ۱۰ برابر سریع‌تر از میزان متوسط یک مزرعه نیتروژن از دست دهند. گرچه هدررفت نیتروژن ممکن است در یک روز در اثر مرطوب‌کردن ناگهانی یک خاک دارای زه‌کشی خوب در یک منطقه مرطوب به ۱۰ کیلوگرم درهکتار برسد، این خاک‌ها به‌ندرت بیشتر از ۵ تا ۱۵ کیلوگرم نیتروژن درهکتاردرسال به‌وسیله‌ی نیترات‌زدایی از دست می‌دهند(جدول۲-۱۳). اما وقتی زه‌کشی خاک محدود بوده و مقادیر زیادی کود شیمیایی نیتروژنی مصرف گردد، هدررفت قابل‌توجهی را باید انتظار داشت. هدررفت ۳۰ تا ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال در نظام‌های کشاورزی مشاهده شده است.

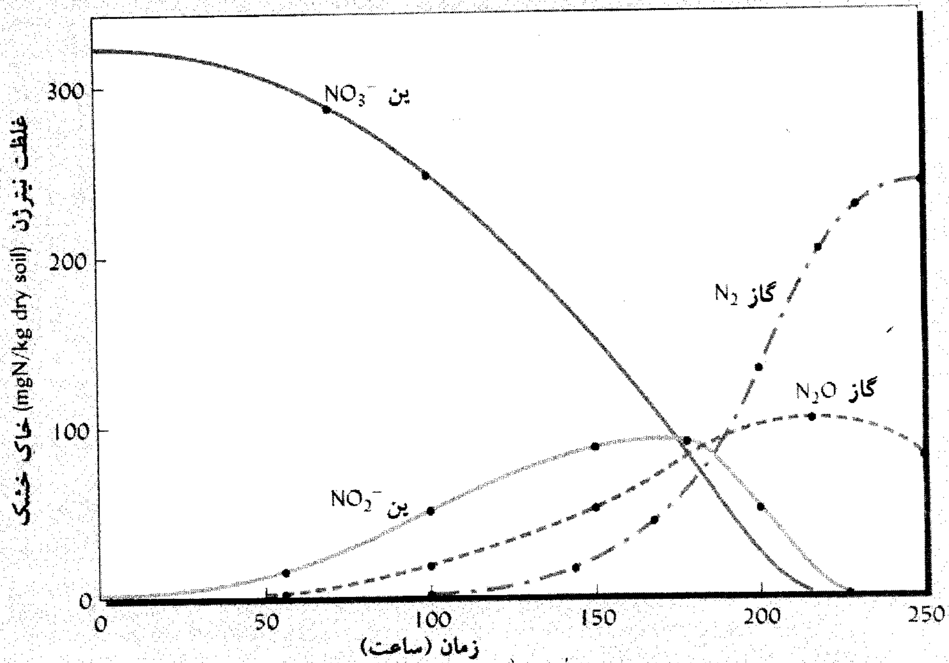
جدول ۲-۱۳ میزان نیتروژن ورودی به خاک از کودهای دامی و شیمیایی در سه کشور اروپایی

برداشت نیتروژن به‌وسیله‌ی محصولات زراعی و نیتروژن باقی‌مانده جذب‌نشده نشان داده شده است. بعضی از نیتروژن‌های باقی‌مانده در داخل ماده‌ی آلی قرار داشته اما اکثر آن در اثر آبشویی، رواناب و بخارشدن به نیوار وارد می‌شوند.

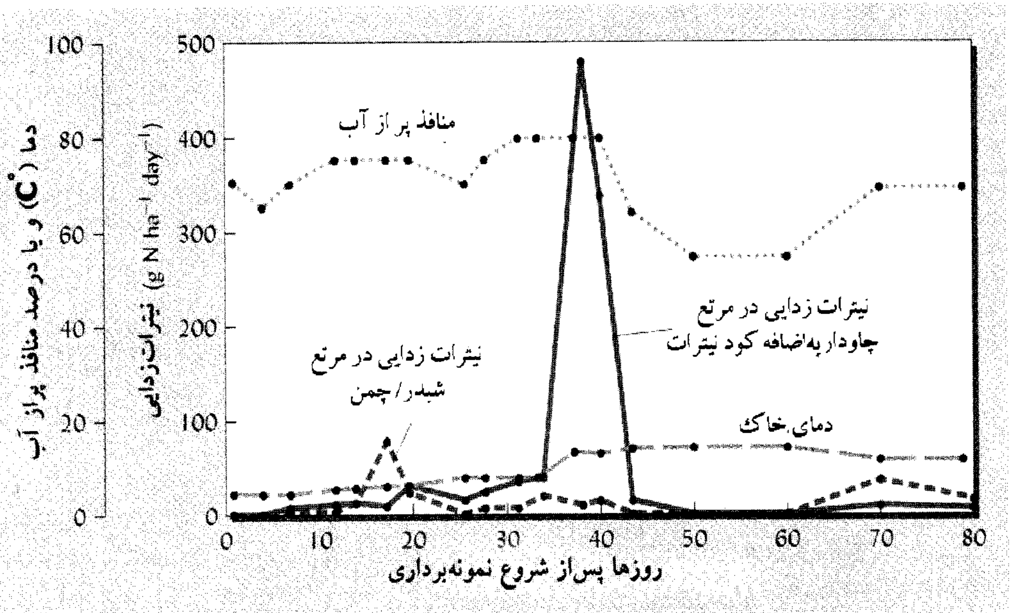
	میزان عرضه نیتروژن برحسب۱۰۰۰تن				نیتروژن باقی‌مانده	
کشور	کود دامی	کودشیمیایی	کل	نیتروژن جذب شده به‌وسیله‌ی محصول برحسب۱۰۰۰تن	کل برحسب۱۰۰۰تن	کیلوگرم در هکتار
بلژیک/لوگزامبورگ	۳۸۰	۱۹۹	۵۸۰	۲۱۱	۳۶۹	۲۴۰
دانمارک	۴۳۴	۳۸۱	۸۱۶	۲۸۷	۵۲۹	۱۸۷
هلند	۷۵۲	۵۰۴	۱۲۵۵	۲۸۵	۹۷۰	۴۸۰

جدول ۳-۱۳ سرنوشت نیتروژن مصرف‌شده در دو آزمایش یکی در ایالت اوهایو و دیگری در منطقه‌ای با رطوبت کمتر در اوکلاهما. در منطقه مرطوب‌تر (اوهایو)، هدررفت به‌وسیله‌ی آبشویی و تصعید بسیار بیشتر از منطقه خشک‌تر (اوکلاهما) است.

سرنوشت نیتروژن مصرف شده	ذرت خوشه‌ای و سودان‌گراس(در اکلاهما) ٪	ذرت (اوهایو) ٪
جذب گیاه	۶۰	۲۹
ماده‌ی آلی خاک	۳۳	۲۱
آبشویی شده	۰	۳۳
هدررفت گازی	۷	۱۷
	۱۰۰	۱۰۰



شکل ۸-۱۳ تغییر در اشکال مختلف نیتروژن درطول فرایند نیترات‌زدایی در یک خاک مرطوب که در نبود اکسیژن نیواری نگاهداری شده است



شکل ۹-۱۳ تغییرات در نیترات‌زدایی و شرایط خاک در بهار در یک خاک دارای زه‌کشی خوب اما با بافت نسبتاً سنگین(لوم رسی سیلت دار ایست کسویک یدالف[1]) در ایالت ولز انگلستان. دو نظام مرتعی مورد مطالعه قرار گرفت. چاودار که هر سال ۱۵۰ کیلو نیتروژن دریافت میداشت و مخلوط شبدر و چمن. میزان نیتروژنی کود شیمیایی مصرف‌شده در نظام چاودار به منظور یکسان‌نمودن نیتروژن با مقدار نیتروژن تثبیت‌شده در نظام شبدر و چمن به‌طور تقریبی برابر بود (بخش ۱۱-۱۳ را مشاهده کنید). به سرشت متغیر گاه‌به‌گاهی فرایند نیترات‌زدایی توجه داشته باشید. بیشترین هدررفت نیتروژن در یک دوره کوتاه که خاک گرم، مرطوب، و دارای نیترات زیاد است، صورت می‌گیرد. این روند مخصوص نظام‌های دست‌خورده بوم‌سامان کشاورزی بوده، و با روند آرام پیوسته نیترات‌زدایی که معمولاً در جنگل‌های طبیعی دست‌نخورده یافت می‌شود، در تعارض است.

---

[1] - East Keswick silty clay loam,Udalfs

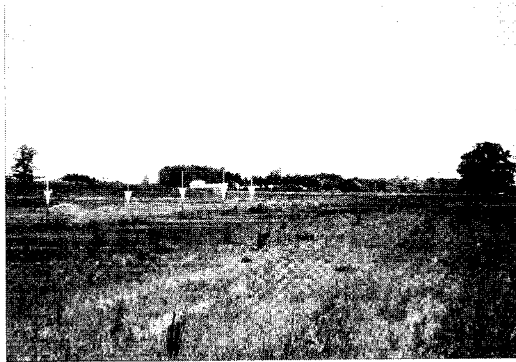
نیترات‌زدایی در خاک‌های غرقابی

در خاک‌های غرقابی، مانند آن‌هایی که در اراضی باتلاقی و برنج‌زارها یافت می‌شود(شکل ۱۰-۱۳الف)، ممکن‌است هدررفت به‌وسیله‌ی نیترات‌زدایی بسیار زیاد باشد. نیترات ممکن‌است به‌وسیله‌ی جریان‌های طغیانی و یا براثر نیتراتی‌شدن درشرایط هوازی موضعی به خاک برسد(چند سانتی‌متر فوقانی). این نیترات ممکن است بعداً به مناطق غیرهوازی منتقل گردد، بنابراین در یک خاک، نیتراتی‌شدن و نیترات‌زدایی می‌تواند همزمان صورت گیرد.

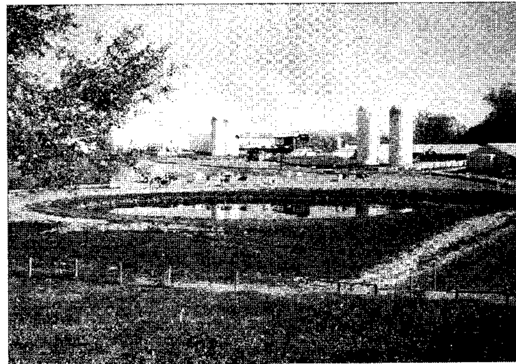
اگر کود نیتروژنی مصرف‌شده در زراعت برنج امکان نیتراتی‌شدن پیدا کند، اکثر آن بعداً به‌صورت اکسیدهای نیتروژن و یا نیتروژن عنصری تبخیر می‌شود. جدول۴-۱۳ هدررفت اکسید نیترو را از یک شالیزار نشان می‌دهد، که ابتدا امکان زه‌کشی سبب نیتراتی‌شدن آن گردید و پس از غرقاب‌شدن مجدد در معرض نیترات‌زدایی قرار گرفت. هرچند از این اتلاف می‌توان با ماندابی نگه‌داشتن خاک و جایگذاری عمیق کود در منطقه‌ی احیاء خاک ممانعت کرد. در این منطقه اکسیژن کافی برای پیشرفت نیتراتی‌شدن وجود ندارد. بنابراین نیتروژن در شکل آمونیومی باقی مانده و در معرض هدررفت براثر نیترات‌زدایی قرار نمی‌گیرد(شکل ۱۱-۱۳) .

تناوب نیتراتی‌شدن و نیترات‌زدایی در اراضی باتلاقی طبیعی و مصنوعی نیز می‌تواند صورت گیرد. اراضی باتلاقی حاصل از جزرومد (شکل۱۰-۱۳ب را مشاهده کنید)، که به‌طور متناوب با بالاآمدن و پایین‌رفتن آب دارای شرایط هوازی و غیرهوازی می‌شود دارای توان بالایی برای تبدیل نیتروژن به اشکال گازی می‌باشد. هدررفت سریع نیتروژن به‌عنوان یک نقش مثبت اراضی باتلاقی محسوب می‌شود. در این فرایند، دریاچه‌ها و مصب‌ها از اثرات غنی‌شدن حاصل از نیتروژن زیاد محافظت می‌گردند. در حقیقت می‌توان فاضلاب غنی از کربن آلی و نیتروژن را به‌طور بسیارمؤثری با جریان آرام آن بر روی یک خاک اشباع طراحی شده خاص، در فرایندی که اصلاح فاضلاب با جریان روسطحی نامیده می‌شود[1]، کاملاً تمیز کرد (شکل۱۰-۱۳ج را مشاهده کنید).


(الف)


(ج)


(ب)


(د)

شکل ۱۰-۱۳ نیترات‌زدایی در برداشت نیتروژن از نظامهای غرقابی که دارای مناطق هوازی و غیرهوازی و غلظت بالایی از کربن آلی است دارای پتانسیل بالایی می‌باشد. نمونه‌ای از این نظام‌ها عبارتند از: (الف)شالیزارهای غرقابی، (ب)اراضی باتلاقی جزرومدی، (ج)منطقه‌ی اصلاح فاضلاب به‌وسیله‌ی جریان روسطحی (فاضلاب به‌وسیله‌ی آبیاری بارانی توزیع می‌شود. پیکان‌ها را مشاهده کنید) و (د)یک استخر ذخیره کود و فاضلاب دامی

[1] - Overland flow wastewater treatment

نیترات‌زدایی در آب زیرزمینی

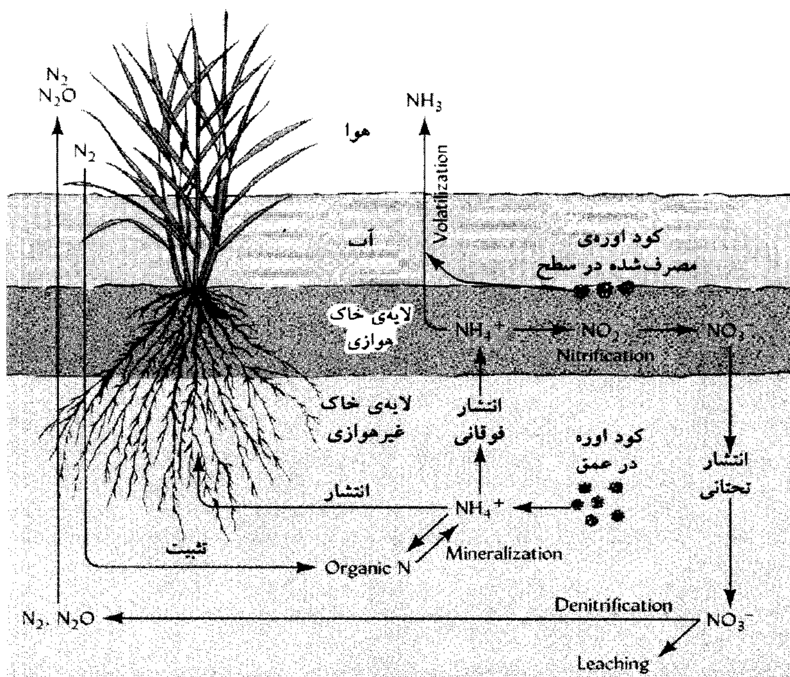
مطالعات جدید درمورد حرکت نیترات در آب زیرزمینی اهمیت نیترات‌زدایی را در خاک‌های دارای زه‌کشی ضعیف و تحت پوشش ریپارین (اراضی درخت‌زار کنار رودخانه) مشخص کرده است. در اکثر موارد مطالعه‌شده در مناطق مرطوب معتدل، آب زیرزمینی آلوده‌شده اکثر نیترات خود را با عبور از منطقه‌ی کنارآبی (ریپارین) به‌سوی رودخانه از دست می‌دهد. میزان برداشت ظاهری نیترات، چه منبع آن میدان‌های زه‌کشی فاضلاب باشد و یا اراضی زراعی کودخورده، می‌تواند بسیار تعجب‌آور باشد(شکل۱۲-۱۳). اعتقاد بر این است که بیشتر نیترات براثر نیترات‌زدایی تحت تأثیر ترکیبات آلی آبشویی شده از لاشبرگ درحال تجزیه‌ی جنگلی و در شرایط غیرهوازی که در خاک‌های مرطوب کنارآبی موجود است، تلف می‌گردند.

جدول ۴-۱۳ خروج اکسید نیترو(N_2O) از شالیزارهای پست آبیاری‌شده در کشور فیلیپین که نیتروژن را یا به‌تنهایی از کود اوره و یا از ترکیب اوره همراه با کود سبز و یا بقایای کاه و کلش دریافت داشته است.

خاک مقادیر زیادی از N_2O را فقط در زمان آیش که ایام خشک(که امکان هوادارشدن خاک به‌اندازه کافی برای انجام فرایند نیتراتی‌شدن و تولید نیترات فراهم گردد) در تناوب با ایام مرطوب(که طی آن شرایط غیرهوازی امکان نیترات‌زدایی را فراهم کند) قرار می‌گرفت، ازدست داد. ازآن‌جاکه کود سبز و کاه اثر اندکی بر هدررفت N_2O داشتند به‌نظرمی‌رسد که خاک کربن قابل‌تجزیه‌ی کافی برای حمایت نیترات‌زداها داشته‌است. مطالعات تکمیلی نشان داد مقادیر قابل‌توجهی گاز N_2 همراه با N_2O آزاد گردید.

منبع نیتروژن	آزادشدن اکسید نیترو(N_2O) میلی گرم نیتروژن در متر مربع			
	برنج در فصل خشک ۱۱۱روز	آیش ۳۶ روز	برنج درفصل مرطوب ۹۸ روز	آیش ۸۹ روز
اوره	۹	۱۷۱	۱۳	۱۹
کود سبز و اوره	۱۲	۱۸۳	۶	۱۸
کاه و اوره	۶	۱۷۲	۶	۳۶

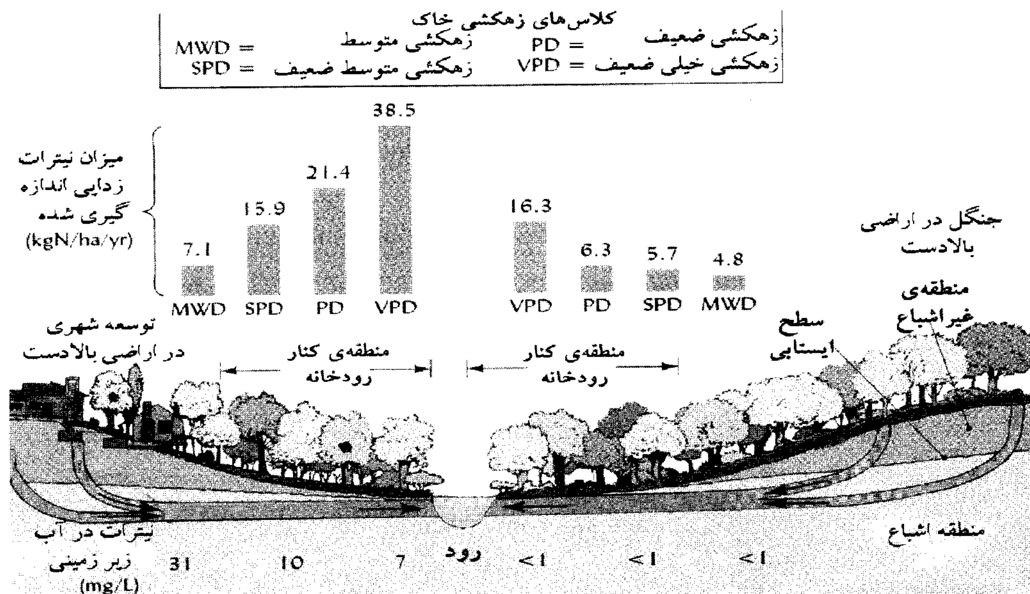
مقدار کود اوره در فصل خشک ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و در فصل مرطوب ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کود سبز و کاه ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در بافت گیاهی به اضافه ۱۴۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در فصل خشک و ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در فصل مرطوب با مصرف کود اوره



شکل ۱۱-۱۳ واکنش‌های نیتراتی‌شدن و نیترات‌زدایی و پویایی فرایندهای مربوطه که مهارکننده هدررفت نیتروژن از لایه‌های هوازی و غیرهوازی در نظام خاک‌های غرقابی می‌باشد. نیترات‌ها که در لایه‌های نازک هوازی، درست در زیر فصل مشترک آب و خاک تشکیل می‌شوند به‌داخل لایه‌های غیرهوازی خاک زیرین (منطقه احیاء) انتشار یافته و به گازهای N_2، N_2O تبدیل می‌شوند (نیترات‌زدایی)که در نیوار تلف می‌شوند. جای‌گذاری کودهای اوره و آمونیوم در بخش غیرهوازی عمیق از اکسایش ین آمونیوم به نیترات جلوگیری کرده بنا براین هدررفت را کاهش می‌دهد.

این‌که حذف نیتروژن به‌وسیله‌ی نیترات‌زدایی حقیقتاً برای محیط زیست مفید است، بستگی دارد که کدام گاز تولید شود. اگر مقادیر قابل‌توجهی N_2O و NO تولید شود، در آن‌صورت اراضی مرطوب و نظام جریان سطحی آلودگی آب را با آلودگی نیوار معامله خواهند کرد.

ما هم‌اکنون تعدادی از فرایندهای زیستی را تشریح کردیم که سبب هدررفت نیتروژن از نظام خاک می‌شود. حال توجه خود را به اصول زیستی فرایندی معطوف خواهیم داشت که براثر آن نیتروژن جبران می‌گردد.

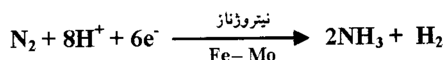


شکل ۱۲-۱۳ نیترات‌زدایی در اراضی درخت‌زار (ریپارین) مرطوب حاشیه رودخانه که آب زیر زمینی با نیترات زیاد و کم دریافت میدارد. آب زیرزمینی دارای نیترات زیاد (چپ) از مناطقی می‌آید که در آن ساختمان‌سازی به‌شدت توسعه‌یافته و از میدان‌های زه‌کشی برای دفع فاضلاب استفاده می‌شد. آب زیرزمینی دارای نیترات کم (راست) از مناطق جنگلی بدون توسعه ساختمان‌سازی می‌آید. منطقه درخت‌زار در هر دو طرف رودخانه از جنگل افرای قرمز غالب تشکیل شده بود. میزان نیترات آب زیر زمینی آلوده بعد از چندمتر عبور از اراضی درختزار مرطوب حدود ۴/۵ برابر کاهش یافت (۳۱ppm به ۷ppm). خاک‌ها در این مطالعه انسپتی‌سول و انتی‌سول بسیار شنی بوده‌اند. در سایر منطقه‌های درخت‌زار با خاک‌های دارای بافت ریز حتی سبب حذف کامل نیترات آب زیرزمینی شده‌اند.

۱۰-۱۳ تثبیت زیستی نیتروژن[1]

بعد از سوخت‌وساز نوری گیاهی تثبیت زیستی نیتروژن احتمالاً مهمترین واکنش زیست‌شیمی از نظر حیات برروی زمین می‌باشد. در این فرایند موجودات خاص گاز دی‌نیتروژن بی‌اثر (N_2) را به ترکیبات آلی دارای نیتروژن تبدیل می‌کنند که برای تمام اشکال حیات در چرخه نیتروژن قابل‌استفاده است. فرایند به‌وسیله‌ی تعداد محدودی از ریزجانداران از جمله، گونه‌های متعددی از باکتری‌ها[2]، اکتینومیست‌ها[3] و سیانوباکتری‌ها[4] (جلبک سبز آبی) انجام می‌گیرد. مقادیر عظیمی نیتروژن سالانه به‌طور زیستی تثبیت می‌شود، فقط نظام‌های زمینی ۱۳۹ میلیون مگاگرم (تن متریک) یعنی دو برابر آن‌چه در کل کودهای شیمیایی نیتروژن وجود دارد، تثبیت می‌کنند.

سازوکار: سازوکار و کلید تثبیت زیستی نیتروژن به‌رغم ترکیب موجودات زنده، آنزیم نیتروژناز[5] است که واکنش‌یار (کاتالیزور) احیای گاز نیتروژن طبق واکنش زیر به آمونیاک می‌باشد.

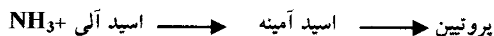


$$N_2 + 8H^+ + 6e^- \xrightarrow[\text{Fe-Mo}]{\text{نیتروژناز}} 2NH_3 + H_2$$

آمونیاک نیز به‌نوبه‌ی خود با اسیدهای آلی ترکیب شده و اسیدآمینه و دست‌آخر پروتیین تولید می‌کند.

---

[1] -Biological Nitrogen Fixation
[2] -Bacteria
[3] -Actinomycetes
[4] -Cynobacteria
[5] -Nitrogenasae



عمل احیاء N_2 به‌وسیله‌ی آنزیم نیتروژناز انجام می‌شود که همتافتی از دو پروتیین می‌باشد، پروتیین کوچک دارای آهن و پروتیین بزرگ هم دارای آهن و هم مولیبیدون است (شکل ۱۳-۱۳). چندین حقیقت آشکار درباره این آنزیم و نقش آن قابل‌بیان است زیرا نیتروژناز منحصربه‌فرد بوده و نقش آن در چرخه‌ی نیتروژن برای جامعه انسانی دارای اهمیت زیاد می‌باشد.

۱- احیاء N_2 به NH_3 به‌وسیله‌ی نیتروژناز نیازمند مقداری انرژی است تا بتواند پیوند سه‌گانه دو اتم نیتروژن ($N \equiv N$) را بشکند بنابراین فرایند در همکاری با گیاهان عالی که می‌توانند این انرژی را ازطریق سوخت‌وساز نوری به‌دست آورند تسریع خواهد شد.

۲- نیتروژناز در تماس با اکسیژن آزاد نابود می‌شود بنابراین موجود تثبیت‌کننده نیتروژن باید آنرا از دسترس اکسیژن دور نگاهدارد. وقتی تثبیت در گره‌های ریشه صورت می‌گیرد، یکی از راه‌های محافظت آنزیم درمقابل اکسیژن آزاد تشکیل لگهموگلوبین[1] است که به گره‌ها رنگ قرمز داده و اکسیژن را در چنان پیوندی قرار می‌دهد که ضمن محافظت نیتروژناز، اکسیژن را برای تنفس سایر بخش‌های گره قابل‌استفاده می‌سازد.

۳- واکنش احیاء به‌وسیله‌ی محصولات نهایی دچار محدودیت می‌شود. تجمع آمونیاک سبب توقف تثبیت نیتروژن و وجود نیترات در خاک از تشکیل گره‌ها ممانعت می‌کند.

۴- موجودات تثبیت‌کننده دارای نیاز نسبتاً بالایی به مولیبدن، آهن، فسفر و گوگرد می‌باشند، زیرا این عناصر بخشی از مولکول نیتروژناز بوده و یا برای ساخت و استفاده از آن لازم می‌باشند

نظام تثبیت: تثبیت زیستی نیتروژن به‌وسیله‌ی تعدادی نظام‌های ریزجانداران با همکاری و یا بدون همکاری گیاهان عالی انجام می‌پذیرد (جدول ۶-۱۳). اگرچه نظام همزیستی گیاهان نیام‌دار- باکتری بیشترین توجه را به خود معطوف داشته است، یافته‌های جدید مطرح می‌کند که سایر نظام‌ها شامل خانواده‌های بیشتری از گیاهان در مقیاس جهانی می‌باشد و حتی با نظام‌های همزیست با نیام‌داران در تأمین نیتروژن زیستی در خاک رقابت می‌کنند. هرکدام از این نظام‌های عمده در زیر به اختصار مورد بررسی قرار خواهند گرفت:

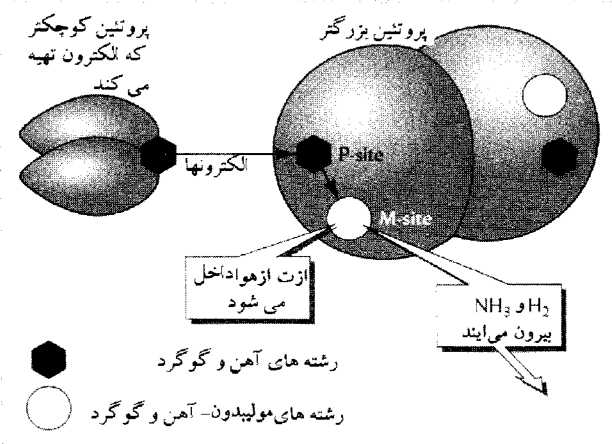
جدول ۵-۱۳ تثبیت جهانی نیتروژن از منابع مختلف

منبع تثبیت نیتروژن تثبیت(10^6مگاگرم)	مساحت(10^6 هکتار)	ازت تثبیت شده در سال	
		میزان(Kg/ha)	مقدار کل(10^6مگاگرم)
تثبیت زیستی			
گیاهان نیام‌دار	۲۵۰	۱۴۰	۳۵
گیاهان غیرنیام‌دار	۱۱۵۰	۸	۹
مرغزارها و چمن‌زارها	۳۰۰۰	۱۵	۴۵
جنگل‌ها و اراضی درخت‌زار	۴۱۰۰	۱۰	۴۰
سایر اراضی دارای پوشش	۴۹۰۰	۲	۱۰
اراضی زیر پوشش یخ	۱۵۰۰	۰	۰
کل مساحت	۱۴۹۰۰	---	۱۳۹
دریا	۳۶۱۰۰	۱	۳۶
کل زیستی	۵۱۰۰۰	---	۱۷۵
رعد و برق	---	---	۸
صنعت کود	---	---	۷۷
جمع کل	---	---	۲۶۰

[1] - Leghemoglobin، در واقع دارای همان مولکول hemoglobin است که درصورت اکسایش، به خون انسان رنگ قرمز می‌دهد.استفاده از هموگلوبین برای ایفای اساساً همان نقش‌های مشابه در گره‌های ریشه‌ی نیام‌داران و خون پستانداران، مثالی اعجاب‌انگیز از گرایش محافظه‌کارانه طبیعت و وحدت کل زندگی است.

جدول ۶-۱۳ اطلاعاتی در مورد نظام‌های مختلف تثبیت نیتروژن

نظام‌های تثبیت نیتروژن	موجودات مؤثر	گیاهان مؤثر	محل تثبیت
همزیست الزامی[1] - خانواده نیام‌داران	باکتری ریزوبیوم و برادی‌ریزوبیوم	خانواده نیام‌داران	گره ریشه
- غیرنیام‌دار(نهان‌زادان)	اکتینومیست (فرانکیا)	غیرنیام‌دار- نهان‌زادان	گره ریشه
همکاری و اتحاد[2] - شرکت در ایجاد شکل ظاهری	سیانوباکتری- باکتری	گیاهان عالی مختلف درریزجانداران	گره برگ وریشه وگلسنگ (قارچ و جلبک)
- عدم شرکت درایجادشکل ظاهری	سیانوباکتری- باکتری	گیاهان عالی مختلف ریزجانداران	ریزوسفر(ریشه‌سپهر)و فیلوسفر(برگ‌سپهر)
غیرهمزیست[3]	سیانوباکتری- باکتری	در گیاهان موجود نمی‌باشد	آب، خاک مستقل از نباتات



شکل۱۳-۱۳ همتافت نیتروژناز شامل دو نوع پروتیین است، پروتیین بزرگ‌تر با استفاده از الکترون‌های تهیه‌شده به‌وسیله‌ی پروتیین کوچک‌تر N_2 نیوار را به NH_3 تبدیل می‌کند. محل‌های M برروی پروتیین بزرگ‌تر دی‌نیتروژن (N_2) را از هوا گرفته، درحالی‌که محل‌های P الکترونهای تهیه‌شده به‌وسیله‌ی مولکول کوچک‌تر را دریافت می‌دارد تا N_2 بتواند به NH_3 احیاء گردد.

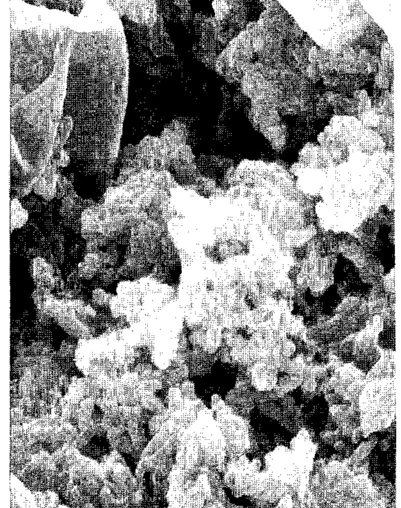
۱۱-۱۳ تثبیت همزیست با خانواده‌ی نیام‌داران

همزیستی (رابطه‌ی دوجانبه سودمند) نیام‌دار و باکتری‌های دارای جنس ریزوبیوم و برادی‌ریزوبیوم منبع عمده نیتروژن تثبیت‌شده‌ی زیستی در خاک‌های زراعی است. جنس ***Rhizobium*** شامل باکتری‌های سریع‌الرشد و تشکیل‌دهنده اسید بوده درحالی‌که ***Bradyrhizobia*** گونه‌های دارای رشد بطئی بوده که اسید تشکیل نمی‌دهند. هر دو این گونه‌ها باهم مورد بررسی قرار خواهند گرفت. این موجودات ریشه‌های مویی و یاخته‌های خارجی ریشه را آلوده کرده و گره‌هایی را در ریشه ایجاد می‌کنند که محلی برای تثبیت نیتروژن می‌باشد (شکل ۱۴-۱۳). در یک مشارکت دوجانبه‌ی سودمند گیاه میزبان کربوهیدرات‌ها را برای تأمین انرژی موردنیاز باکتری تهیه کرده، و باکتری با تأمین ترکیبات نیتروژن تثبیت شده برای گیاه عالی آنرا جبران می‌کند.

موجودات شرکت‌کننده: یک ریزوبیوم و یا برادی‌ریزوبیوم خاص در بعضی از نیام‌داران آلودگی ایجاد کرده و در بعضی دیگر آلودگی ایجاد نمی‌کند. برای مثال ***Rhizobium trifolii*** گونه‌های ***Trifolium*** را آلوده می‌کند، لکن شبدر زرد را که دارای جنس ***Melilotus*** است آلوده نمی‌کند. به‌همین ترتیب ***Rhizobium phaseoli*** لوبیای معمولی ***Phaseolus vulgaris*** را آلوده کرده و سویا را که جنس **Glycine** می‌باشد، آلوده نمی‌کند. این واکنش اختصاصی پایه‌ای برای تقسیم‌بندی ریزوبیوم‌ها (جدول ۷-۱۳ را مشاهده کنید) می‌باشد. نباتات نیام‌دار که می‌توانند به‌وسیله‌ی گونه‌ای خاص از ***Rhizobium*** تلقیح گردند در همان گروه تلقیح قرار می‌گیرند.

[1] -Obligatory symbiotic
[2] -Associative involvement
[3] -Nonsymbiotic

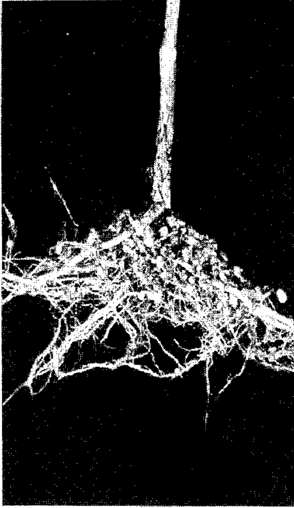
در مناطقی که یک نیام‌دار خاص برای سال‌ها کشت شده است، گونه‌ی مناسب *Rhizobium* احتمالاً در خاک حضور دارد. گرچه جمعیت طبیعی ریزوبیوم در خاک اغلب بسیار پایین بوده و یا نژادهای موجود گونه *Rhizobium* غیرمؤثر می‌باشند(شکل ۱۵-۱۳). در این شرایط، مخلوط مناسب از ریزوبیوم و برادی‌ریزوبیوم می‌تواند با پوشش‌دادن بذور نیام‌دار و یا با توزیع ماده تلقیحی مستقیماً در خاک، مورد استفاده قرار گیرد. نژادهای مؤثر و رقیب گونه‌ی *Rhizobium* که به‌طور تجاری موجود می‌باشند، درصورت استفاده اغلب سبب افزایش عملکرد فقط برای یک نبات خاص می‌شوند. ممکن است شما هنگام برنامه‌ریزی تناوب نیام‌داران و یا خرید ماده‌ی تلقیحی تجاری، به جدول۷-۱۳ مراجعه کنید.



(ج)



(ب)



(الف)

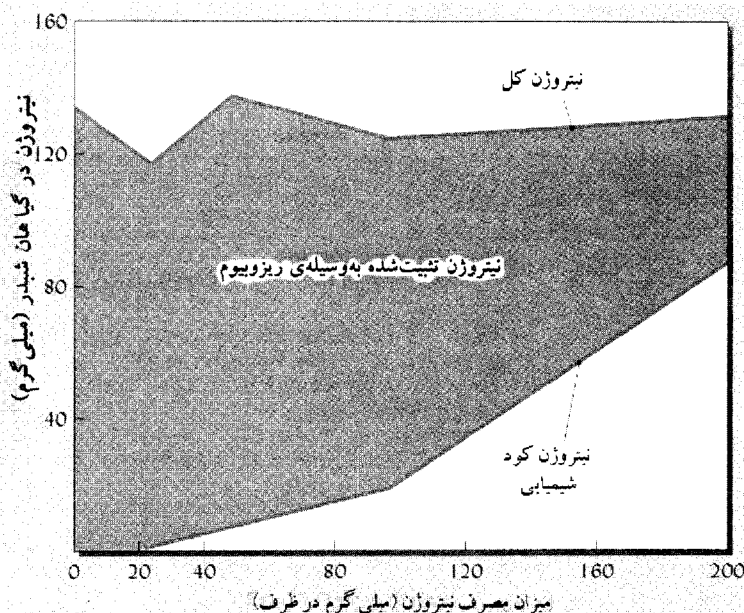
شکل ۱۴-۱۳ عکس‌ها گره‌های سویا را نشان می‌دهد. (الف)گره‌ها در روی ریشه‌های نبات سویا دیده می‌شوند، و نمای نزدیک(شکل ب) نشان می‌دهد که تعدادی از گره‌ها با ریشه‌ها اشتراک دارند. یک ریزعکس الکترونیکی ردیاب (ج) یک یاخته گیاهی را در داخل گره‌ها که با باکتری *Bradyrhizobium japonicum* پر شده است نشان می‌دهد.



شکل ۱۵-۱۳ این محصول سویا در شرق آفریقا کلاً از بین رفته است. بذرهای سویا با باکتری مخصوص آن قبل از کشت در زمین تازه جنگل‌تراشی شده که قبلاً در آن سویا کشت نگردیده تلقیح نشده است.

میزان نیتروژن تثبیت‌شده: میزان تثبیت زیستی نیتروژن تا حد زیادی وابسته به شرایط خاک و اقلیم است، همزیستی نیام‌دار و ریزوبیوم معمولاً در خاک‌هایی که خیلی اسیدی نیستند(همزیستی برادی‌ریزوبیوم معمولاً می‌تواند اسیدیته نسبتاً قابل‌توجهی را تحمل کند). درصورت تأمین عناصر غذایی اصلی به بهترین وجه صورت می‌پذیرد. هرچند مقادیر زیاد نیتروژن قابل‌استفاده، چه موجود در خاک وچه اضافه شده به‌صورت کودهای شیمیایی سبب کاهش تثبیت زیستی نیتروژن می‌گردد(شکل۱۶-۱۳). گیاهان ظاهراً انرژی زیاد موردنیاز تثبیت زیستی نیتروژن را تنها هنگامی تأمین خواهند کرد که مقادیر اندک نیتروژن معدنی تثبیت نیتروژن را ناگزیر سازد.

میزان تثبیت زیستی نیتروژن اگرچه محل به محل کاملاً متغیر است، می‌تواند کاملاً بالا باشد، به‌خصوص در نظام‌هایی که شامل گره‌ها بوده، امکان تأمین انرژی را از سوخت‌وساز نوری و شرایط حفظ آنزیم نیتروژناز را فراهم آورد(جدول ۸-۱۳). نظام‌های بدون گره و یا نظام‌های غیرهمزیست معمولاً مقدار نسبتاً کمتری نیتروژن را تثبیت می‌کنند. هرچند بسیاری از جوامع گیاهی و نظام‌های کشاورزی (معمولاً شامل نیام‌داران) حجم زیادی از نیازهای نیتروژن خود را از طریق تثبیت زیستی نیتروژن مرتفع می‌سازند.

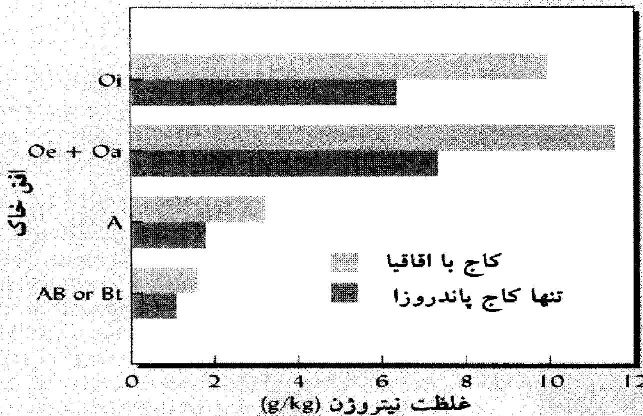


شکل۱۶-۱۳ تأثیر نیتروژن معدنی اضافه‌شده بر میزان نیتروژن کل نبات شبدر، نسبت نیتروژن تأمین‌شده به‌وسیله‌ی کودشیمیایی و تثبیت‌شده به‌وسیله‌ی ریزوبیوم همزیست با ریشه شبدر. افزایش میزان مصرف نیتروژن، میزان نیتروژن تثبیت‌شده به‌وسیله‌ی ریزجانداران را در این آزمایش گلخانه‌ای کاهش داد.

جدول ۷-۱۳ طبقه‌بندی باکتری‌های ریزوبیوم و گروه‌های هم تلقیح نیام‌دار. جنس ***Rhizobium*** شامل باکتری‌های دارای رشد سریع و تولیدکننده است، درصورتی‌که جنس ***Bradyrhizobium*** باکتری‌های دارای رشد کند بوده و اسید تولید نمی‌کنند. جنس سوم ***Azorhizobium*** که درجدول نیامده است، سبب تولید گره‌های در ساقه‌ی درخت ***Sesbania rostrata*** می‌شود.

باکتری: جنس	باکتری: گونه/زیرگونه	گیاه میزبان
Rhizobium		
bv.viceae	***R. loguminosarum***	ماشک ***Vicia***، نخودفرنگی ***Pisum***، عدس ***Lens***خلر ***Lathyrus***
bv.trifolii	***R. loguminosarum***	اکثر شبدرها ***Trifolium spp.***
bv.phaseoli	***R. loguminosarum***	لوبیا خشک، لوبیا رونده.. ***Phaseolus spp.***
	R.meliloti	شبدر شیرین ***Melilotus***یونجه ***Medicago***شنبلیله ***Trigonella***
	R.loti	سه‌پر ***Lotus***لوپین ***Lupinus*** نخود ***Cicer***,***Anthyllus***, ***Leucaena***
	R.fredii	گونه‌های لوبیا روغنی **Glycine**
Bradyrhizobim		
	B.japonicum	گونه‌های لوبیا روغنی ***Glycine***
	B.sp	گاودانه ***Vigna***، بادام زمینی ***Arachis*** لوبیاچشم بلبلی ***Cajanus***، کودزا ***Pueraria***، کرتولاریا ***Crotolaria***، و بسیاری از نیام‌داران گرمسیری

اثر میزان نیتروژن خاک: اطلاعات موجود درجدول ۸-۱۳ نشان می‌دهد که تثبیت زیستی نیتروژن هم برای کشاورزی و هم برای جنگل سودمند است. این منبع نیتروژن برای اکثر سوزنی‌برگان و پهن‌برگان، گندمیان و سبزی‌ها، که فاقد ارتباطات همزیستی هستند، غیرقابل‌استفاده است، مگر این‌که آن‌ها همراه با گونه‌های گره‌دار کاشته گردند. درطول زمان حضور گونه‌های تثبیت‌کننده نیتروژن می‌تواند میزان نیتروژن خاک را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای بالا برده و گونه‌های غیرتثبیت‌کننده را که همراه با گونه‌های تثبیت‌کننده کاشت شده‌اند، بهره‌مند سازد(شکل ۱۷-۱۳را مشاهده کنید)



شکل ۱۷-۱۳ میزان نیتروژن افق‌های خاک جنگلی که بیانگر اثرات درخت اقاقیای مکزیکی (*Robinia neomixcana*) همراه با کاج پاندروزا[1] (*Pinus ponderosa*) در منطقه‌ای از آریزونا با ۶۷۰ میلیمتر بارندگی سالانه می‌باشد. اعداد میانگین ۲۰ قطعه‌زمین درخت کاج می‌باشد که نصف آنها همراه درختان نیام‌دار تثبیت‌کننده نیتروژن (اقاقیا) در زیراشکوب خود می‌باشند. خاک‌ها اوترواستالف[2] و ارجیواستول[3] با بافت لومی و لومی‌رسی می‌باشند.

همان‌طورکه گفته شد تثبیت نیتروژن هنگامی‌که اشکال معدنی نیتروژن برای جذب گیاه قابل‌استفاده باشد، دچار محدودیت می‌شود. حتی موقعی که همزیستی تثبیت نیتروژن استقرار یافت، گیاهان ترجیح می‌دهند که از نیتروژن خاک درصورت دسترسی به آن از منابعی مانند نیتروژن معدنی‌شده از ماده‌ی آلی، نیتروژن موجود در باران و یا کودهای شیمیایی استفاده کنند. بعضی از نباتات مانند لوبیا و نخود چنان در تثبیت نیتروژن ضعیفند که اکثر نیتروژنی که جذب می‌کنند، از خاک تأمین می‌شود. بنابراین نباید همیشه فرض کرد که نظام‌های همزیست سبب افزایش نیتروژن خاک می‌شوند. فقط زمانی که خاک از نظر نیتروژن قابل‌استفاده فقیر است و گیاهان شامل تثبیت‌کننده قوی نیتروژن باشند، به‌نظر می‌رسد این مسأله صادق باشد.

در مواردی که نبات نیام‌دار به‌منظور بذر و یا علوفه برداشت می‌شود، بیشترین نیتروژن تثبیت‌شده براثر برداشت از زمین خارج می‌شود. از نظر اضافه‌شدن نیتروژن، این نباتات باید به‌عنوان نباتات ذخیره کننده نیتروژن خاک، نه گیاهان افزاینده آن مورد ملاحظه قرار گیرند. از طرف دیگر افزایش قابل‌ملاحظه نیتروژن خاک می‌تواند به‌وسیله‌ی نباتات چندساله (مانند یونجه) و نباتات یک‌ساله (مانند خلر کرک‌دار) که تمام محصول آن‌ها به‌عنوان کود سبز به خاک برمی‌گردد، صورت گیرد. هنگام برآورد نیازهای کودی نیتروژن برای حداکثر تولید و حداقل آلودگی محیط زیست این افزایش نیتروژن باید در حساب منظور گردد (بخش ۴-۱۶ را مشاهده کنید).

سرنوشت نیتروژن تثبیت‌شده به‌وسیله‌ی باکتری‌های گیاهان نیام‌دار: نیتروژن تثبیت‌شده درگره‌های ریشه در سه مسیر قرار می‌گیرد:

اول: مستقیماً به‌وسیله‌ی گیاه میزبان مصرف می‌شود که در آن‌صورت از مزایای همزیستی مورد بحث در بخش ۱۰-۱۳ به‌مقدار زیادی برخوردار می‌شود. بخشی از اندام‌های غنی از نیتروژن نبات ممکن است بعدها به‌عنوان پس‌ماندهای گیاهی به خاک برگردد.

دوم: بخشی از نیتروژن تثبیت‌شده ممکن‌است برای گیاهان غیرتثبیت‌کننده که همراه گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن کشت می‌شوند، قابل‌استفاده گردد. گرچه انتقال مستقیم تا حدی ازطریق ریسه قارچ-ریشه‌ها که دو گیاه را به‌هم وصل می‌کنند، امکان‌پذیر می‌گردد، بیشتر انتقال از طریق معدنی‌شدن ترکیبات غنی از نیتروژن موجود در ترشحات ریشه و بافت‌های جداشده ریشه و گره‌ها انجام می‌گیرد. آمونیوم و نیترات آزادشده در داخل خاک برای هر نباتی که همراه نیام‌داران کشت می‌شود، قابل‌استفاده می‌باشد. رشد قوی علف گندمی در یک مخلوط علف‌گندمی- نیام‌دار (شکل ۱۸-۱۳)، و غلظت نسبتاً بالای نیترات که بعضی مواقع در آب زیرزمینی در زیر گیاهان نیام‌دار اندازه‌گیری می‌شود، دلیلی بر آزادشدن سریع نیتروژن می‌باشد.

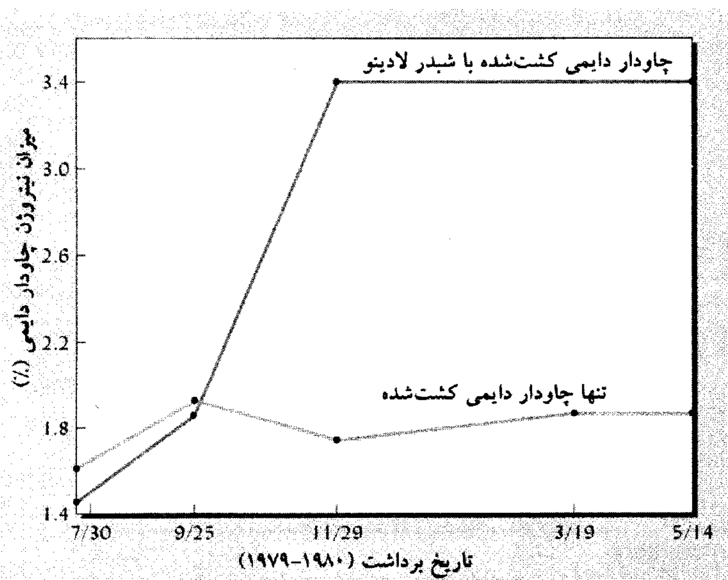
سوم: سومین مسیر برای نیتروژن تثبیت‌شده، عدم تحرک آن به‌وسیله‌ی ریزموجودات ناخودپرور و شرکت آن در داخل ماده‌ی آلی خاک است (فصل ۴-۱۳).

---

[1] -Ponderosa pine
[2] -Eutrustalfs
[3] -Argiustolls

جدول ۸-۱۳ میزان تثبیت نیتروژن در نظام‌های مختلف

نبات و یا زراعت	موجود همراه	میزان نیتروژن تثبیت شده (برحسب کیلوگرم درهکتاردرسال)
همزیست خانواده نیام‌دار گره‌دار		
درخت اپیل اپیل *Leucena leucocephala*	باکتری ریزوبیوم	۱۰۰-۵۰۰
درخت اقاقیا. *Robina spp*		۷۲-۲۰۰
یونجه *Medicago sativa*		۱۵۰-۲۵۰
شبدر. *Trifolium pretense L*		۱۰۰-۱۵۰
لوپین. *Lupinus sp*		۵۰-۱۰۰
خلر *Vicia vilbosa*		۵۰-۱۵۰
لوبیا *Phaseolus vulgaris*		۳۰-۵۰
گاودانه *Vigna unguiculata*	باکتری برادی‌ریزوبیوم	۵۰-۱۰۰
بادام زمینی. *Arachis sp*		۴۰-۸۰
سویا. *Glycine max L*		۵۰-۱۵۰
لوبیاچشم بلبلی. *Cajanus sp*		۱۵۰-۲۸۰
کودزو. *Pueraria sp*		۱۰۰-۱۴۰
خانواده غیرنیام‌دار گره‌دار		
توسکا *Alnus*	اکتینومیست فرانکیا	۵۰-۱۵۰
گونه‌های *Gunnera*	سیانوباکتری (نوستوک)	۱۰-۲۰
خانواده غیرنیام‌دار بدون گره		
چمن پانگولا[1] *Degetaria decumbens*	باکتری *Azospirillum*	۵-۳۰
چمن باهیا[2] *Pasalum notatum*	باکتری *Azotobacter*	۵-۳۰
آزولا[3]	سیانوباکتر(*Anabena*)	۱۵۰-۳۰۰
غیرهمزیست:	باکتری(*Clostridium, Azobacter*)	۵-۲۰
	سیانوباکتری (مختلف)	۱۰-۵۰



شکل ۱۸-۱۳ میزان نیتروژن در ۵ چین برداشت چاودار چمنی[4] که تنها و یا همراه با شبدر لادینو کشت شده است. در دو چین برداشت شده اول نیتروژن تثبیت‌شده به‌وسیله‌ی شبدر برای چاودار چمنی قابل‌استفاده نبوده و میزان نیتروژن چاودار پایین می‌باشد. در برداشت‌های بعدی نیتروژن تثبیت‌شده به‌طور آشکار قابل‌استفاده بوده و به‌وسیله‌ی چاودار چمنی جذب شده بود. این احتمالاً شاید به‌خاطر معدنی‌شدن بافت‌های مرده ریشه شبدر لادینو باشد.

---

1 -Pangola grass   2 -Bahia grass   3-Azolla   4-Raygrass

۱۲-۱۳ تثبیت همزیست با گیاهان غیرنیام‌دار

گیاهان غیرنیام‌دار تشکیل‌دهنده‌ی گره

حدود ۲۰۰ گونه از بیشتراز ۱۲ جنس غیرنیام‌دار که تشکیل گره داده و با تثبیت همزیستی نیتروژن سازگاری دارند، شناخته شده‌اند که چندین گروه مهم گیاهان نهان‌دانه را که در جدول ۹-۱۳ آمده‌اند شامل می‌شوند. هنگامی‌که ریشه‌های مویین این گیاهان، که در بعضی اراضی جنگلی و اراضی مرطوب حضور دارند، به‌وسیله‌ی اکتینومیست‌های خاص از جنس *Frankia* آلوده می‌شوند گره‌های خاصی را تشکیل می‌دهند.

میزان تثبیت نیتروژن در هکتار به‌خوبی قابل‌مقایسه با ترکیب‌های نیام‌دار-ریزوبیوم می‌باشد(جدول ۸-۱۳). درمقیاس جهانی نیتروژن کل تثبیت شده بدین‌طریق حتی از نیتروژن تثبیت‌شده به‌وسیله‌ی نیام‌داران زراعی بیشتر است (جدول۵-۱۳). به‌دلیل توانایی تثبیت نیتروژن بعضی از این ترکیبات درخت- اکتینومیست قادرند که در بعضی از خاک‌های غیرحاصلخیز و خاک‌های جدید تشکیل شده در مناطق به‌هم‌خورده، که دارای حاصلخیزی فوق‌العاده پایین و همچنین سایر شرایط محدودکننده رشد گیاه می‌باشند، استقرار یابند (شکل ۱۹-۱۳). وقتی گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن استقرار یافتند و شروع به افزایش نیتروژن از طریق لاشبرگ و یا ترشحات ریشه نمودند، اراضی برای استقرار سایر گونه‌ها مناسب می‌گردد. بنابراین فرانکیا نقش مهمی در اقتصاد نیتروژن در مناطقی که در توالی استقرار گونه‌ها قراردارند، و همچنین در جنگل‌های استقراریافته و باتلاق‌ها ایفا می‌کند.

سیانوباکتری‌های خاص به‌خاطر ایجاد روابط همزیستی تثبیت نیتروژن با گیاهان سبز مشهور می‌باشند.یکی از آن‌ها شامل تشکیل گره در روی ساقه جنس *Gunnera* یک نهان‌دانه‌ی معمول در اراضی باتلاقی در نیمکره جنوبی می‌باشد. در این همکاری سیانوباکتری جنس *Nostoc* ۱۰ تا ۲۰ کیلوگرم در هکتار در سال نیتروژن تثبیت می‌کند (جدول۱۸-۱۳).



شکل ۱۹-۱۳ اکتنومیست خاک، جنس *Frankia* می‌تواند سبب ایجاد گره در گونه‌های گیاهان چوبی خاص شده و موجب تشکیل تثبیت نیتروژن همزیست گردد که می‌تواند با همزیستی نیام‌دار- ریزوبیوم از نظر کارآیی رقابت کند. درخت توسکای قرمز(ب) یکی از گونه‌های پیشگام درختی برای تجدید پوشش نقاط فرسایش‌یافته در مناطق پرباران شمال غرب مجاور اقیانوس کبیر در آمریکا می‌باشد. این درخت جوان توسکا به‌رغم فقر نیتروژن و شرایط فرسایش خاک، به‌دلیل این‌که وابسته به نیتروژن خاک برای نیازهای خود نمی‌باشد، دارای رشد خوبی است.

تثبیت زیستی نیتروژن بدون گره

در میان مهم‌ترین نظام‌های تثبیت نیتروژن بدون تشکیل گره، آن‌هایی هستند که شامل سیانوباکتری‌ها می‌باشند، یک نظام که دارای اهمیت عملی قابل‌ملاحظه‌ای می‌باشد عبارتست‌از ترکیب ازولا/آنابنا[1] که در بعضی برنج‌زارهای گرمسیری و نیمه‌گرمسیر دارای شکوفایی می‌باشد. سیانوباکتری آنابنا در حفره‌های موجود در سرخس شناور آزولا مسکن گزیده و سبب تثبیت نیتروژن در مقادیری کاملاً قابل‌مقایسه با ترکیب‌های نیام‌دار-ریزوبیوم می‌باشد(جدول ۸-۱۳).

یک پدیده تثبیت نیتروژن با گسترش خیلی زیاد اما با شدت کم در بین ریزوسفر و علف‌های گندمی خاص و سایر گیاهان غیرنیام‌دار شایع می‌باشد. موجودات مسوول، باکتری‌ها به‌خصوص انواع مربوط به جنس‌های *Spirillum* و *Azotobacter* می‌باشد(جدول۸-۱۳). ترشحات ریشه نبات انرژی لازم را برای فعالیتهای تثبیت این ریزجانداران تأمین می‌کند.

دانشمندان میزان‌های بسیار متفاوتی را از تثبیت نیتروژن را برای ریزوسفر گزارش کرده‌اند، بالاترین ارقام در ارتباط با علف‌های گندمی گرمسیری خاص مشاهده شده است. اگر مقادیر تثبیت حتی فقط ۵ تا ۳۰ کیلوگرم در هکتار در سال باشد، به‌نظر می‌رسد باتوجه به اراضی علف‌های گندمی وسیع گرمسیری، مقدار کل تثبیت نیتروژن به‌وسیله‌ی موجودات ریزوسفر که بسیار بالا باشد (جدول ۵-۱۳).

جدول۹-۱۳ تعداد و توزیع گیاهان عمده غیرنیام‌دار با گره‌بندی به‌وسیله‌ی اکتینومیست(درمقایسه حدود۱۳۰۰۰ گونه‌های نیام‌دار وجوددارد)

جنس	خانواده	نسبت گونه‌های گره‌دار/ به کل گونه‌های موجود	توزیع جغرافیایی
Alnus	Betulaceae	31/35	مناطق خنک نیمکره شمالی
Ceanothus	Rhamnaceae	31/35	آمریکای شمالی
Myrica	Myricaceae	26/35	بسیاری از مناطق گرمسیر-نیمه‌گرمسیرومعتدل
Casuarina	Casuarinaceae	24/25	گرمسیر و نیمه‌گرمسیر
Elaeagnus	Elaeganaceae	16/45	آسیا، اروپا و آمریکای شمالی
Coriaria	Coriariaceae	13/15	مدیترانه تا ژاپن، زلاندنو، شیلی و مکزیکو

۱۳-۱۳ تثبیت غیرهمزیست نیتروژن

ریزجاندارانی خاص به‌طور آزاد در خاک و آب زندگی کرده، قادرند که نیتروژن را تثبیت کنند. از آن‌جاکه این جانداران مستقیماً در ارتباط با گیاهان عالی نمی‌باشند، تغییرشکل نیتروژن تحت عنوان غیرهمزیست و یا زندگی آزاد نامیده می‌شود.

تثبیت به‌وسیله‌ی ناخودپرورها

گروه‌های مختلفی از باکتری‌ها و سیانوباکتری‌ها قادر می‌باشند نیتروژن را به‌طور غیرهمزیست تثبیت کنند. در خاک‌های معدنی مناطق مرتفع تثبیت عمده به‌وسیله‌ی گونه‌های دو جنس از باکتری‌های هوازی ناخودپرور به نام ازوتوباکتر (در خاک‌های معتدل) و بجرینکیا[2] (در خاک‌های مناطق گرمسیری) انجام می‌شود. باکتری‌های غیرهوازی خاص از جنس کلستریدیم[3] نیز قادر می‌باشند نیتروژن را تثبیت کنند. از آن‌جاکه مناطقی با تأمین اکسیژن اندک حتی در خاک‌های دارای شخم‌آیی خوب[4] موجود می‌باشد، باکتری‌های هوازی و غیرهوازی شانه‌به‌شانه‌ی هم در بسیاری از خاک‌های دارای زه‌کشی خوب انجام‌وظیفه می‌کنند.

مقدار نیتروژن تثبیت‌شده به‌وسیله‌ی این موجودات ناخودپرور در ارتباط با pH، میزان نیتروژن خاک و منابع ماده‌ی آلی قابل‌استفاده متغیر می‌باشد. به‌دلیل تأمین انرژی اندک به‌نظر می‌رسد در تحت شرایط عادی زراعی میزان تثبیت نیتروژن به‌وسیله‌ی این موجودات که در فاصله ۵ تا ۲۰ کیلوگرم در هکتار در سال باشد(جدول ۸-۱۳) که فقط بخش کوچکی از نیتروژن موردنیاز گیاهان را تشکیل می‌دهد. هرچند در بعضی از بوم‌سامان‌ها این میزان نیتروژن کمک قابل‌توجه به تأمین نیازهای نیتروژن می‌کند.

---

[1]- Azolla/Anabaena
[2] -Beigerinckia
[3] -Clostridium
[4] -Good Tilth

تثبیت به‌وسیله‌ی خودپرورها

در میان خودپرورهای قادر به تثبیت نیتروژن باکتری‌های دارای سوخت‌وساز نوری و سیانوباکتری‌های خاص قرار دارند. این موجودات قادرند در حضور نور گازکربنیک و نیتروژن را همزمان تثبیت کنند. میزان همکاری باکتری‌های سوخت‌وساز نوری نامشخص بوده، اما به‌نظر می‌رسد نقش سیانوباکتری‌ها، به‌خصوص در مناطق مرطوب و برنج‌زارها تا حدی اهمیت داشته باشد. در بعضی موارد مشخص شده است که این جلبک‌ها مقادیر کافی نیتروژن برای مزارع با تولید متوسط برنج تأمین کنند اما سطوح عادی بیش از ۲۰ تا ۳۰ کیلوگرم در هکتار در سال نمی‌باشد. تثبیت نیتروژن به‌وسیله‌ی سیانوباکتری‌ها در خاک‌های مناطق مرتفع نیز انجام می‌پذیرد، اما میزان آن بسیار کمتر از تثبیت آن در شرایط اراضی پست می‌باشد.

۱۴-۱۳ افزایش نیتروژن به خاک در ریزش‌های جوی

نیوار حاوی گاز آمونیاک و نیترات حل‌شده در بخارآب و همچنین ترکیبات نیتروژنی آزادشده از خاک و گیاهان و همین‌طور از احتراق ذغال سنگ و محصولات نفتی می‌باشد. نیترات‌ها همچنین در مقادیر کم درنتیجه تخلیه الکتریکی(برق) در نیوار تشکیل می‌شود. منبع دیگر دود اتومبیل‌ها و موتور کامیون‌ها می‌باشد که بخش قابل‌توجهی از نیتروژن را به‌صورت دود و گردوغبار شهری به نیوار، به‌ویژه در پایین‌دست باد در شهرهای بزرگ می‌فرستند. این ترکیبات نیتروژن نیوار از طریق باران، برف و گردوغبار به خاک برمی‌گردند. گرچه میزان افزایش در هکتار اندک است، مقدار کل نیتروژن اضافه شده سالانه قابل‌توجه است.

مقدار آمونیاک و نیترات در بارندگی در ارتباط با موقعیت و فصل به‌طور مشخص متغیر می‌باشد. در مناطق گرمسیر مرطوب مقدار آن بیشتر از مناطق معتدل مرطوب و آنهم بزرگ‌تر از اقالیم معتدل نیمه‌خشک می‌باشد. افزایش نیتروژن ناشی از باران در نزدیکی شهرها، مناطق صنعتی و پرواربندی‌های بزرگ بیشترین مقدار می‌باشد (جدول۱۰-۱۳). توجه خاصی به ریزش نیترات و سایر اکسیدهای نیتروژن در این مناطق دارای غلظت بالا مبذول می‌شود، زیرا این نهشته‌ها با افزایش اسیدیته همراه می‌باشند. آثار زیان‌بار زیست‌محیطی باران اسیدی و تأثیر آن‌ها بر پوشش گیاهی (جنگل‌ها و زراعت‌ها) و آب‌های سطحی، مزایای تغذیه‌ای نیترات‌های حاصل از باران را ناچیز خواهد کرد.

به‌طور شاخص در نزولات ۲/۳ نیتروژن به‌صورت آمونیوم و ۱/۳ آن به‌صورت نیترات می‌باشد. دامنه‌ی تغییرات کل نیتروژن (نیترات+ آمونیوم) اضافه‌شده به‌وسیله‌ی ریزش‌ها ۱ تا ۲۵ کیلوگرم N (ازت خالص) در هکتار در سال می‌باشد. رقم ۵ تا ۸ کیلوگرم برای مناطق معتدل غیرصنعتی رقم شاخص است. دریافت سالانه این میزان نسبتاً محدود نیتروژن احتمالاً برای بوم‌سامان‌های طبیعی بیشتر از کشاورزی اهمیت دارد.

اثرات بر بوم‌سامان‌های جنگلی

در جنگل‌های بالغ جذب خالص نباتات و عدم تحرک میکروبی در چنان تعادل نزدیکی با آزادشدن نیتروژن در فرایند معدنی‌شدن است که بسیاری از این نظام‌ها دارای توانایی بسیار اندکی برای نگهداری نیتروژن عاید شده می‌باشد. نیتروژن حاصل از نیوار عمدتاً به‌صورت اسیدنیتریک (HNO_3) یا آمونیوم وارد جنگل می‌شود که طی نیتراتی‌شدن میکروبی به اسیدنیتریک تبدیل می‌شود(بخش ۷-۱۳ را مشاهده کنید). درنتیجه به‌نظر می‌رسد جنگل‌های بالغ خاص اکثر نیتروژن حاصل از هوای آلوده به‌صورت نیترات آبشویی و از دسترس خارج شود. یون H^+ حاصل از این اسیدها سبب جابه‌جایی کاتیون‌های بازی در کلوییدهای خاک می‌گردد. کاتیون‌های جابه‌جاشده به‌خصوص کلسیم و منیزیم براثر آبشویی به‌داخل خاک با نیترات (و سولفات بخش ۲۲-۱۳ را مشاهده کنید) از دست می‌روند. بنابراین، آبشویی آنیون‌های فعال (نیترات‌ها و سولفات‌ها) سبب تشدید هدررفت کلسیم و منیزیم، عدم تعادل در تغذیه‌ی درختان و کاهش توان تولیدی جنگل می‌شود. ممکن است نیتروژن موجود در نزولات هنگام ریزش بر اراضی زراعی یک کود سودمند به‌شمار آید، اما هنگام اضافه‌شدن به خاک‌های رویشگاه درختان مانند یک آلاینده خطرناک می‌باشد. فصل ۹ باید برای تشریح هرچه بیشتر این واکنش‌ها و اختلافات خاک‌ها مورد مطالعه قرار گیرد.

اثرات بر بوم‌سامان‌های چراگاهی

بوم‌سامان چراگاه طبیعی شامل تنوع گسترده‌ایی از گیاهان بومی برخوردارند که به‌خاطر توانایی خود در نگهداری نیتروژن مشهورند. حدود ۵ تا ۱۰ کیلو نیتروژن در هکتار سالانه از نیوار و تثبیت نیتروژن به این بوم‌سامان‌ها اضافه می‌شوند. گرچه این بوم‌سامان‌ها دارای توان تولید قابل‌توجهی می‌باشد، کوشش‌هایی برای افزایش توان تولید با اضافه‌کردن کود شیمیایی نیتروژنی، و معرفی گونه‌های غیربومی پاسخ‌ده نیتروژن خوب انجام شده است. ممکن است این فعالیت‌ها سبب افزایش عملکرد به‌طور موقت شود، اما تحقیقات نشان داده‌اند که طی زمان بسیاری از گونه‌های بومی کم‌نیاز به نیتروژن به‌وسیله‌ی گونه‌های خارجی دارای نیاز زیاد به نیتروژن و علف‌های هرز جانشین می‌شوند. نظام

حاصل دارای تنوع زیستی و توان تولید پایین‌تری نسبت به چراگاه‌های بومی اصلی می‌باشد. این نشان می‌دهد که تلاش‌هایی که با نیت خیر برای افزایش توان تولید در بوم‌سامان‌های طبیعی صورت می‌پذیرد، درواقع دارای نتایج عکس می‌باشد. دخالت انسان بی‌اطلاع از اصول حاکم بر توان تولیدی بوم‌سامان، ممکن است به نتایج غیرمطلوب بیانجامد.

جدول ۱۰-۱۳ مقادیر نیتروژن سالانه حاصل از بارندگی در قسمت‌های مختلف آمریکا

مناطق در ایالات متحده	دامنه‌ی تغییرات در ترسیب سالانه Kg/ha		کل نیتروژن Kg/ha
	نیتروژن نیتراتی	نیتروژن آمونیاکی	
مناطق روستایی ایالت اوهایو	۶/۶ - ۱۰/۶	۶/۲ - ۸/۲	۱۲/۸ - ۱۸/۸
مناطق صنعتی شمال شرق*	۴/۳ - ۷/۴	۸/۶ - ۱۴/۸	۱۲/۹ - ۲۲/۲
مرزهای مناطق صنعتی شمال شرق	۲/۸ - ۴/۱	۵/۶ - ۸/۲	۸/۴ - ۱۲/۳
مناطق وسیع طبیعی در غرب	۰/۴ - ۰/۶	۰/۸ - ۱/۲	۱/۲ - ۱/۸

۱۵-۱۳ واکنش کودهای شیمیایی نیتروژنی

مصرف جهانی کودهای شیمیایی حاوی نیتروژن در طول چند دهه‌ی گذشته به مقدار زیادی گسترش یافته است. اکثر کودهای تجاری، نیتروژن را در اشکال محلول مانند نیترات، آمونیوم و یا اوره (که به سرعت آبکافت‌شده و تولید آمونیوم می‌کند) عرضه می‌کنند. یون‌های آمونیوم و نیترات کودهای شیمیایی به‌وسیله‌ی گیاهان جذب و در چرخه نیتروژن، به همان طریق آمونیوم و نیترات حاصل از معدنی‌شدن ماده‌ی آلی قرار می‌گیرند. اختلاف عمده در این است که نیتروژن حاصل از مقادیر زیاد کود شیمیایی از نظر زمانی (تماماً در یک زمان مصرف می‌شوند) و مکانی (در نوارهای باریک و یا لایه‌های نازک مصرف می‌شوند) بسیار غلیظ‌تر از نیتروژن حاصل از سایر منابع می‌باشد در حالی‌که مصرف بخردانه این مقادیر کودی برای رشد گیاهی بسیار سودمند می‌باشد، ممکن است اثرات زیان‌بار شدیدی را نیز دربرداشته باشد.

اول غلظت زیاد گاز آمونیاک در کودهای آزادکننده‌ی آمونیوم (مانند اوره و آمونیاک خشک) سبب محدودیت فعالیت بسیاری از جامعه گیاهی و جانوری خاک از جمله باکتری‌های تولیدکننده‌ی نیترات و کرم‌های خاکی، می‌شود این ضدعفونی‌کردن نسبی معمولاً موقتی و موضعی می‌باشد. این غلظت آمونیاک سبب اتلاف و فرار آن به نیوار به‌خصوص در خاک‌های قلیایی می‌شود. همچنین به‌خاطر آن‌که دو مول اسیدیته که برای هر مول نیتروژن آمونیومی در فرایند نیتراتی‌شدن تولید می‌گردد، استفاده از کودهای آمونیومی سبب افزایش اسیدیته خاک می‌شـــود (بخش ۷-۱۳ رامشاهده کنید). اسیدیته خاک همچنین با افزایش آمونیاک آزاد شده از مصرف شدید کود دامی حاصل می‌گردد.

غلظت در زمان وقتی رخ می‌دهد که عرضه‌ی نیتروژن محلول یک‌سال در یک نوبت مصرف کود انجام می‌شود، که روش کم‌هزینه و آسان و روش معمول در کشاورزی و جنگل‌داری است. بدبختانه فرایند هضم در چرخه‌ی نیتروژن (جذب نبات و عدم تحرک) ممکن است قادر نباشد که نیتروژن محلول کود شیمیایی را به‌سرعت کافی جذب کند تا از هدررفت عمده‌ی آن براثر آبشویی، رواناب سطحی، نیترات‌زدایی و فرار آمونیاک ممانعت کند. پیامد زیست‌محیطی این هدررفت قبلاً موردبحث قرار گرفته است. به‌عنوان یک قاعده‌ی کلی، کم مخاطره‌ترین روش از نظر زیست‌محیطی، مصرف کود شیمیایی در مقادیر کوچک و در چندین نوبت در تطابق با نیازهای کودی نبات می‌باشد.

۱۶-۱۳ مدیریت عملی نیتروژن خاک در کشاورزی

اهداف مدیریت نیتروژن از سه جنبه مورد توجه است.(۱) نگهداری عرضه‌ی کافی نیتروژن در خاک (۲) تنظیم اشکال محلول نیتروژن برای اطمینان از وجود مقادیر کافی برای برآورد تمام نیازهای نیتروژن گیاه برای رشد بهینه به‌طور آسان (۳) به‌حداقل‌رساندن خسارات زیست‌محیطی تراوش و نشت در نظام خاک و نبات.

برای درک مسأله مدیریت نیتروژن ملاحظه ورودی و خروجی نیتروژن در یک مزرعه و یا بوم‌سامان مفید می‌باشد. شکل ۲۰-۱۳ ورودی و خروجی نیتروژن را برای یک مزرعه فرضی خلاصه می‌کند. اکثر مسیرهای ورودی و خروجی در بوم‌سامان طبیعی معادل می‌باشند. چهره‌هایی که تعادل یک مزرعه را از یک بوم‌سامان طبیعی متفاوت می‌سازد عمدتاً عبارتند از:

(۱) خارج‌کردن نیتروژن موجود در محصول برداشت شده که مصرف خروجی عمده می‌باشد.

* میزان نیتروژن آمونیومی دوبرابر نیتروژن نیتراتی محاسبه شده. این لیست تقریبی به‌دست آمده در اندازه‌گیری‌های مختلف ممکن است در محل خاص درست نباشد.

(۲) اضافه‌کردن کود شیمیایی که بیانگر ورودی عمده می‌باشد.

تابلو ۴-۱۳ منطقی نمودن میزان نهاده‌های نیتروژن در نظام‌های کشاورزی

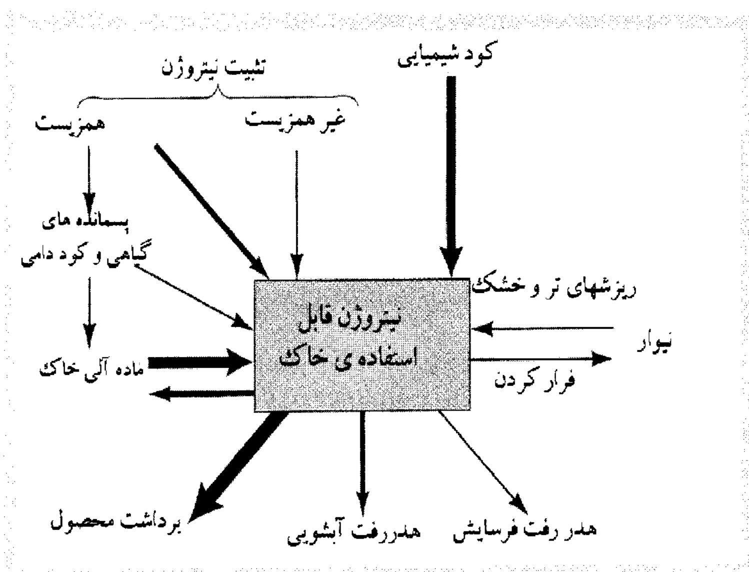
اهمیت نسبی و حجم مطلق مسیرهای مختلف چرخه نیتروژن در ارتباط با گیاه خاص کشت شده و اختلاف در اقلیم و مدیریت متفاوت می‌باشد. یک محصول خوب گندم و پنبه ممکن است فقط ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار برداشت کند که نصف این مقدار از طریق ساقه‌ها و یا کلش به خاک برگردد. برعکس در عملکرد خیلی زیاد، ممکن است ذرت سیلویی ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار برداشت کند. عملکرد خوب سالانه یونجه و یا علوفه‌ی حاصل از یک گیاه گندمی خوب کودخورده بیشتر از ۳۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار خارج کند. صرف‌نظر از محصول، هدف باید به‌حداقل‌رساندن ازدست رفت نیتروژن در تمام مسیرها به‌استثنای برداشت آن به‌وسیله‌ی محصول باشد (این در پایان همان چیزی است که زارع می‌فروشد و ما همگی آن‌را مصرف می‌کنیم). نیاز به مصرف کود شیمیایی تجاری وابسته به درجه‌ی توانایی زارع برای به‌کارگیری تثبیت همزیست نیتروژن، کود دامی، بازچرخ پس‌ماندهای گیاهی و به‌حداقل‌رساندن هدررفت در نظام‌های زراعی می‌باشد.

اگر محصول زراعی و دامی در یک نظام زراعی ترکیب شوند، بیشتر نیتروژن برداشت‌شده به‌وسیله‌ی نبات می‌تواند از طریق کود دامی به خاک برگردد. کود شیمیایی باید به عنوان مکمل نیتروژن قابل‌استفاده از معدنی‌شدن ماده‌ی آلی، تثبیت‌زیستی، بارندگی، کوددامی و پس‌ماندهای گیاهی در نظر گرفته شود. ازدست‌رفتن نیتروژن به‌وسیله‌ی آبشویی و نیترات‌زدایی معمولاً فقط زمانی معضل می‌گردد که مصرف کود نیتروژنی از مقدار موردنیاز برای پرکردن فاصله بین نیازهای جذب نبات و تأمین آن به‌وسیله‌ی سایر منابع فزونی یابد. وقتی ما تعادل نیتروژن را در اراضی زراعی در یک مقیاس ملی مورد بررسی قرار می‌دهیم، روشن است که میزان نیتروژن مصرف‌شده از میزان آنچه می‌توان به‌طور مناسب مورد استفاده قرار گیرد، بیشتر است(جدول۱۱-۱۳). در ایالات متحده، اراضی زراعی سالانه حدود ۲۰/۹ میلیون تن نیتروژن دریافت می‌دارند درحالی‌که ۱۳/۵ میلیون تن نیتروژن به‌صورت برداشت محصول و پس‌ماندهای گیاهی از زمین خارج می‌شود. به‌عبارت دیگر میزان نیتروژن ورودی بیش از ۵۰ درصد میزان خروجی موردنظر است، که سبب باقی‌ماندن ۷ میلیون تن نیتروژن چه به‌صورت تجمع در خاک(در اکثر موارد چنین به نظر نمی‌رسد، فصل ۱۶-۱۳ را مشاهده کنید) و یا نشت به محیط از طریق آبشویی، فرسایش، رواناب، و یا ازدست‌رفت به نیوار از طریق گازهای نیتروژن می‌باشد. درحالی‌که بخشی از هدررفت‌ها در بوم‌سامان کشاورزی غیرقابل اجتناب است، این آگاهی درحال افزایش است که اراضی زراعی در ایالات متحده و سایر کشورهای صنعتی نیتروژن بیشتری از آن‌چه که نبات می‌تواند از آن به‌طور مؤثری استفاده کند، دریافت می‌دارند. این مقدار مصرف نیتروژن اضافی درصورت مهار آلودگی نیتروژن باید کاهش یابد.

جدول ۱۱-۱۳ ورودی و خروجی نیتروژن از تمام اراضی زراعی ایالات متحده در سال ۱۹۸۷ و ۱۹۷۷

فقط گروه‌های عمده، موردنظر قرار گرفته‌اند، این مجموعه اطلاعات سراسر کشور بوده و نباید به عنوان معرف یک مزرعه خاص تلقی شود. برآورد برای هر دو سال جدا از همدیگر به‌عمل آمده است بنابراین تطابق نزدیک آنها بیانگر ارزش آن‌ها می‌باشد.

	میزان ورودی و خروجی نیتروژن	سال ۱۹۸۷(میلیون تن)	سال ۱۹۷۷(میلیون تن)
خروجی			
	محصولات برداشت شده	۱۰/۶	۸/۹
	پس‌ماندهای گیاهی	۲/۸۹	۳/۰
	کل خروجی	۱۳/۵۰	۱۱/۹
ورودی			
	کود شیمیایی	۹/۳	۹/۵
	تثبیت نیتروژن نیام‌داران	۶/۸۷	۷/۲
	بازگشت پس‌ماندهای گیاهی به خاک	۲/۸۹	۳/۰
	کود دامی	۱/۷۳	۱/۴
	کل نهاده	۲۰/۹	۲۱/۱
تراز	ورودی – خروجی	۷/۴۲	۹/۲



شکل ۲۰-۱۳- دست‌آوردها و ازدست‌رفت‌های عمده نیتروژن خاک، عرض پیکان‌ها به‌طور تقریبی بیانگر ازدست‌رفت ویا دست‌آورد مربوطه است. باید تاکید داشت که نمودار بیانگر شرایط متوسط می‌باشد و باید تغییرات خیلی زیادی را در مقدار واقعی و نسبی نیتروژن موجود انتظار داشت.

یک نوع خاک خاص ترکیب در هر اقلیم و نظام زراعی تمایل دارد که مقدار فرضی، تحت عنوان میزان معمول و یا میزان متعادل نیتروژن را شامل باشد. درنتیجه تحت نظام‌های معمولی کشت‌وکار و کوددادن هر تلاشی که برای افزایش مداوم میزان نیتروژن در سطحی بالاتر از این شاخص به‌عمل آید سبب ضایعات غیرضروری نیتروژن به‌صورت آبشویی و فرار شده و قبل از این‌که مورد استفاده قرار گیرد از دسترس خارج می‌شود. گرچه استثناهای چندی در مورد قاعده‌ی کلی فوق وجود دارد. اگر خاکی که به‌طور طبیعی از نظر ماده‌ی آلی و نیتروژن فقیر باشد و در طول مدت خاصی کود شیمیایی زیادی در آن مصرف شود و پس‌ماندهای گیاهی نیز به خاک برگردانده شود، میزان نیتروژن خاک احتمالاً افزایش خواهد یافت. این موقعیت برای خاک‌های مناطق خشک (Aridisols) که تحت آبیاری و کشت سبزی‌ها با مصرف کود زیاد و یا تناوب یونجه قرار گیرند معمول می‌باشد. اگر آبیاری اعمال نشود و عملکرد پایین بیاید خاک نهایتاً به سطح نیتروژن قدیمی خود باز خواهد گشت. میزان تعادل نیتروژن خاک تحت غلبه‌ی عملیات مدیریتی به کار رفته می‌باشد.

راهبردهای اساسی چندی در دست‌یابی به کاهش منطقی میزان مصرف نیتروژن اضافی ضمن حفظ و یا بهبود میزان تولید و سودآوری کشاورزی (تابلو شماره ۴-۱۳ به انضمام جدول ۱۱-۱۳)، نتیجه‌بخش بوده که عبارتند از (۱) به‌حساب منظورنمودن میزان نیتروژن از تمام منابع و کم‌کردن آن از میزان کود شیمیایی (۲) بالابردن بازده‌ی استفاده از کود دامی و کود شیمیایی (۳) اجتناب از دسترسی به عملکرد فراتر از مقدار بهینه که برای تحقق آن استفاده از کودهای شیمیایی برای تأمین نیاز محصول، به‌مراتب بیشتر از نیاز واقعی در اکثر سال‌ها می‌باشد (۴) بالابردن دانش چگونگی واکنش نبات، که عبارتست از تشخیص کمترین میزان نیتروژن برای کسب سود بهینه. این تدبیر مدیریت عناصر غذایی در فصل ۱۶ بیشتر مورد بحث قرار خواهد گرفت.

۱۷-۱۳ اهمیت گوگرد

نقش انکارناپذیر گوگرد در بسیاری از واکنش‌ها در یاخته‌های زنده از قبل شناخته شده است. علاوه بر نقش حیاتی گوگرد در تغذیه نبات، گوگرد در آلودگی‌های مختلف هوا، آب و خاک دخیل بوده، و بنابراین همانند نیتروژن از نظر مسایل زیست‌محیطی مورد توجه می‌باشد. مسایل زیست‌محیطی همراه گوگرد شامل باران‌های اسیدی، تخریب بعضی از جنگل‌های خاص، زه‌کشی معادن اسیدی، خاک‌های سولفاته اسیدی و حتی بعضی اثرات منفی آب آشامیدنی مورد استفاده انسان و احشام می‌باشند.

نقش گوگرد در گیاهان و حیوانات

گوگرد جزیی از ترکیبات اسیدآمینه‌های متیونین[1]، سیستاین[2]، و سیستین[3] بوده که کمبود آنها سبب فقر تغذیه شدید انسان‌ها می‌باشد. ویتامین‌های، بیوتین، تیامین و B1 و همین‌طور بسیاری از آنزیم‌های پروتیینی که فعالیت‌هایی مانند سوخت‌وساز نوری و تثبیت نیتروژن را تنظیم

---

1 -Methionine
2 - Cysteine
3 - Cystine

می‌کنند (نیتروژناز) حاوی گوگرد می‌باشند، اعتقاد بر این است که پیوند گوگرد با گوگرد محل‌های خاص را در روی رشته‌های طولانی اسیدهای آمینه را به همدیگر متصل ساخته و سبب می‌شوند اسیدهای آمینه دارای شکل سه‌بُعدی خاص شوند که برای عمل واکنش‌یاری آنها بسیار لازم است. گوگرد در فرایندهای ساختن پروتیین و آنزیم‌ها در ارتباط نزدیک با نیتروژن می‌باشد. گوگرد همچنین جزء اصلی روغن‌های معطر بوده که به گیاهان خانواده‌ی کلم و پیاز بو و طعم خاص می‌دهد قابل‌تعجب نیست که در میان گیاهان، خانواده‌ی نیام‌داران، کلم و پیاز اختصاصاً نیازمند مقادیر زیادی گوگرد می‌باشند.

کمبودهای گوگرد

برگ‌های سالم گیاهان معمولاً حاوی ۰/۱۵ تا ۰/۴۵ درصد گوگرد بوده و تقریباً ۱/۱۰ مقدار نیتروژن گوگرد دارند. گیاهان دارای کمبود نخ‌مانند بوده و ساقه‌ها و دمبرگ‌های نازکی دارند، رشد آنها کند بوده و ممکن است رسیدن آن‌ها به تأخیر بیفتد. آن‌ها همچنین دارای رنگ کلره سبز روشن و یا ظاهراً زرد می‌باشند. علایم کمبود گوگرد مشابه کمبود نیتروژن است(بخش ۱-۱۳ را مشاهده کنید). هرچند برخلاف نیتروژن گوگرد در گیاهان نسبتاً غیرفعال می‌باشد، بنابراین کلروز (زردی) ابتدا در برگ‌های جوان ظاهر می‌شود (در کمبود نیتروژن کلروز در برگ‌های پیرظاهر می‌شود). برگ‌های دارای کمبود گوگرد در بعضی گیاهان کلروز بین رگبرگی و یا نوارهای کم‌رنگ ایجاد می‌کند که از برگ‌های کمبود نیتروژن آنها را متمایز می‌سازد. همچنین، برخلاف گیاهان دارای کمبود نیتروژن، گیاهان دارای کمبود گوگرد تمایل دارند که قند کمتر اما نیترات بیشتری در عصاره‌ی خود داشته باشند.

کمبود نیتروژن در نتیجه سه روند مستقل در گیاهان زراعی طی چند دهه گذشته درحال افزایش است که عبارتند از:

(۱) اجبار در رعایت استانداردهای هوای تمیز سبب کاهش انتشار اکسیدگوگرد(SO_2) حاصل از سوختن ذغال‌سنگ و نفت فسیلی به نیوار گردیده است.

(۲) بازار کود به‌طور روبه‌افزایش تحت غلبه کودهای غلیظ‌تر قرار می‌گیرد. این کودها عناصر غذایی اصلی خود را با قیمت کمتر ارائه داده و دیگر شامل مقدار قابل‌توجه ناخالصی‌های دارای گوگرد نمی‌باشند. به‌طور مثال، سولفات آمونیوم و کودهای سوپرفسفات که زمانی مصرف آن‌ها بسیار گسترده بود دارای ۲۴ و ۱۲ گوگرد بودند. آنها به‌وسیله‌ی دی‌آمونیوم فسفات (DAP)، اوره، سوپرفسفات تریپل TSP و سایر مواد دارای نیتروژن و فسفر نسبتاً بالا اما گوگرد اندک و یا فاقد آن جایگزین شده‌اند.

(۳) همزمان با کاهش تأمین گوگرد در خاک‌ها و نباتات، ارقام اصلاح‌شده و مدیریت بهتر سبب بالارفتن عملکردها شده است و با افزایش عملکردها گوگرد بیشتری از خاک برداشت می‌شود، و بنابراین نیاز به گوگرد درست با کاهش عرضه‌ی این عنصر افزایش یافته است.

محدوده‌های دارای کمبود: کمبودهای گوگرد در اکثر مناطق جهان گزارش شده است، اما در مناطقی غالب می‌باشد که ماده‌ی مادری خاک دارای گوگرد کم بوده، هوادیدگی و آبشویی شدید سبب حذف آن گردیده، ویا در مناطقی است که جبران گوگرد به‌وسیله‌ی نیوار اندک می‌باشد. در مناطق گرمسیری یک یا دو شرط ذکرشده فوق وجود دارند.

سوزاندن زیتوده گیاهی سبب ازدست‌رفتن گوگرد به نیوار می‌شود. در بسیاری از بخش‌های جهان، پس‌ماندهای گیاهی پوشش بومی به‌طور مرتب به‌عنوان روشی برای پاک‌کردن اراضی سوزانده می‌شوند. خاک‌های ساوانای آفریقا براثر سوزاندن سالانه پس‌ماندهای گیاهی در طول فصل خشک دارای کمبود گوگرد می‌باشند. آتش، گوگرد موجود در پس‌ماندهای گیاهی را معمولاً به گازهای گوگردی مانند SO_2 تبدیل می‌کند که با دود به‌وسیله‌ی باد صدها کیلومتر دورتر به مناطقی که از جنگل‌های بارانی پوشیده شده (خاک‌های اکسی‌سول) انتقال می‌یابد، مقداری از دی‌اکسیدگوگرد به‌وسیله‌ی خاک و برگ جذب شده و بخشی با بارندگی فرود می‌آید. خاک‌های این مناطق اغلب دارای مقادیر قابل‌توجه گوگرد در نیمرخ خود می‌باشند. درحالی‌که در خاک‌های محل آتش‌سوزی (ساوانا)کمبود گوگرد مشاهده می‌شود (شکل ۲۱-۱۳ را مشاهده کنید).

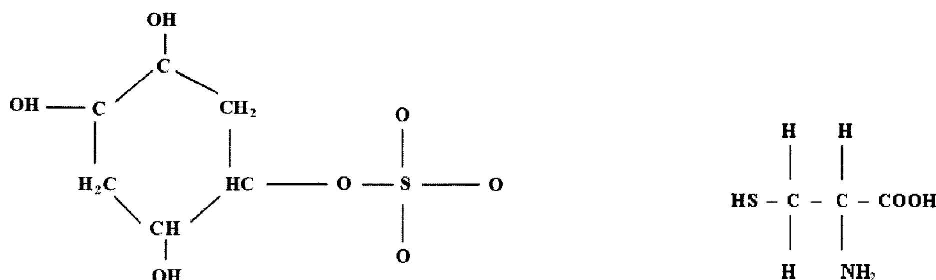
در ایالات متحده‌ی امریکا کمبود گوگرد، در جنوب شرقی، شمال غربی، کالیفرنیا و دشت‌های بزرگ بسیار معمول است. در شمال شرقی و دیگر مناطق دارای صنایع سنگین و شهرهای بزرگ کمبود گوگرد هنوز گسترش نیافته است.

۱۸-۱۳ منابع طبیعی گوگرد

سه منبع عمده طبیعی گوگرد که می‌توانند برای جذب گیاهان قابل‌استفاده باشد عبارتند از: ۱ – ماده‌ی آلی ۲ – کانی‌های خاک۳ –گازهای موجود در نیوار. مجموع این سه منبع برای تأمین نیازهای گیاهان درحال‌رشد در بوم‌سامان‌های طبیعی که بیشتر گوگرد جذب‌شده به‌وسیله‌ی گیاهان نهایتاً به خاک برمی‌گردد کفایت می‌کند.

ماده‌ی آلی

۹۸ – ۹۰ درصد گوگرد در خاک‌های سطحی مناطق معتدل به‌صورت آلی می‌باشد (شکل ۲۱-۱۳) گرچه آن همانند نیتروژن اشکال واقعی گوگرد در ماده‌ی آلی ناشناخته است. بیشتر از نصف گوگرد دارای پیوند کربن (C-S)، عمدتاً در پروتیین‌ها، اسیدهای آمینه مانند سیستیین، سیستین و متیونین می‌باشند این مواد در پیوند با بخش رس هموس بوده و از حمله میکروب‌ها محافظت می‌شوند. یک منبع نسبتاً انتقالی در گوگرد آلی در شکل سولفات استر(C - O - S) است که گوگرد به‌جای این‌که مستقیماً با کربن پیوند داشته باشد، با اکسیژن در پیوند است. مثال‌هایی از ترکیبات این دو بخش در زیر آمده است.



سولفات استر (گلوکز سولفات) — گوگرد در پیوند با کربن(سیستایین)

با گذشت زمان ریزجانداران این ترکیبات گوگرد آلی را به‌صورت اشکال معدنی محلول، عمدتاً سولفات تجزیه می‌کنند. این معدنی‌شدن ترکیبات آلی برای آزادشدن سولفات مشابه معدنی‌شدن ترکیبات آلی برای آزادشدن آمونیوم و نیترات می‌باشد که در بخش ۴-۱۳ بیان گردید.

جدول ۱۲-۱۳ میزان گوگرد بالای خاک‌ها را در سه منطقه جنگلی نشان داده و نسبت ترکیبات آلی و معدنی موجود در هریک را مشخص می‌کند، به درصد بالای گوگرد در پیوند با کربن و درصد نسبتاً کمتر گوگرد سولفاتی توجه کنید.

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، ماده‌ی آلی درخاک‌های سطحی اندک است هرچند گچ ($CaSO_4 , H_2O$)، که سولفور معدنی را عرضه می‌کند در خاک‌های زیرین وجود دارند. بنابراین به‌نظر نمی‌رسد نسبت سولفور آلی در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک به فراوانی مناطق مرطوب باشد. این مسأله به‌خصوص در خاک زیری که کربن آلی فقط بخش کوچکی از گوگرد موجود بوده ویا جایی‌که گچ فراوان است، صادق می‌باشد.

جدول ۱۲-۱۳ غلظت ترکیبات گوگردی در اسپدوسول‌های جنگلی در مناطق مختلف، توجه کنید که لایه Oa افق آلی دارای میزان S بالاتری بوده و در شکل آلی گوگرد(باند C-S و استرسولفات) ۸۴ تا ۹۰ درصد سولفور خاک را شامل می‌باشد.

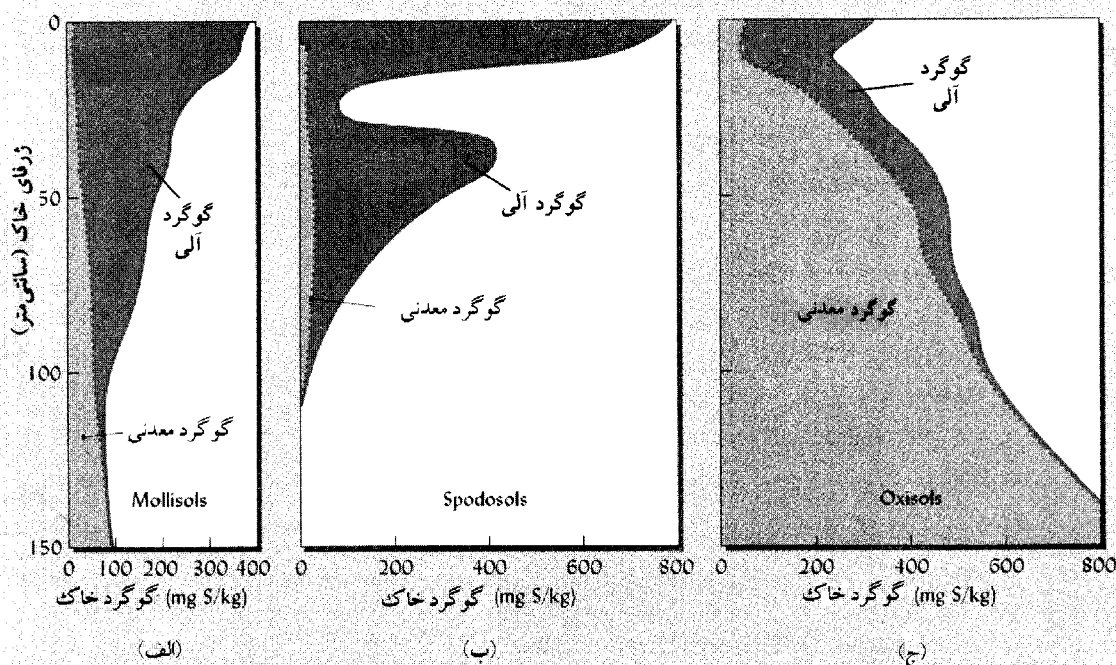
افق	گوگردکل (میکروگرم درگرم)	نسبت گوگرد در خاک (٪) گوگردC-S	استرسولفات	گوگرد سولفاتی	گوگردمعدنی
جنگل هوباردبروک، نیوهمشایر					
Oa	۱۵۳۶	۷۱	۲۸	۰/۳	-
Bh	۳۰۳	۷۲	۲۲	۳	-
Bs1	۴۵۲	۶۴	۲۶	۸/۱	-
جنگل هانتینگتون نیویورک					
Oa	۱۷۸۰	۷۷	۲۲	۰/۲	۰/۷
Bh	۷۶۱	۸۳	۱۳	۳/۱	۲/۲
Bs1	۵۲۷	۷۰	۲۲	۴/۲	۴/۴
منطقه سوزنی برگ					
Oa	۲۰۰۳	۸۸	۱۱	۰/۳	۰/۶
Bh	۵۴۰	۸۳	۱۱	۲/۴	۳/۴
Bs1	۵۱۵	۵۷	۲۷	۱۳	۳

کانی‌های خاک

اشکال معدنی به فراوانی اشکال آلی نمی‌باشد، اما آن‌ها شامل ترکیبات محلول و قابل‌استفاده بوده که گیاهان و میکروب‌ها به آن وابسته هستند. گوگرد در اشکال معدنی متعددی در خاک وجود دارد که کانی‌های سولفات و سولفید معمول‌ترین آن‌ها می‌باشند. کانی سولفات به آسانی محلول است. ین سولفات به‌وسیله‌ی گیاهان جذب می‌شود. کانی سولفات در مناطق با بارندگی اندک معمول‌ترین کانی است که در افق‌های پایین بعضی مولی‌سول‌ها و اریدی‌سول‌ها تجمع می‌یابد(شکل ۲۱-۱۳). ممکن‌است آن‌ها به‌صورت نمک‌های خنثی در افق‌های سطحی خاک‌های شور در مناطق خشک و نیمه‌خشک تجمع یابند.

سولفیدها در خاک‌های بعضی از مناطق مرطوب با زه‌کشی محدود وجود دارند که باید قبل از جذب به‌صورت سولفات اکسیده شوند. در صورت زه‌کشی آنها، اکسایش انجام گرفته و سولفور قابل‌استفاده زیادی آزاد می‌شود. در بعضی موارد چنان اکسایش زیاد است که می‌تواند اسیدیته خیلی شدید ایجاد کند (بخش ۲۱-۱۳ را مطالعه کنید).

منبع معدنی دیگر گوگرد عبارتست از بخش رسی بعضی از خاک‌ها دارای اکسیدهای فراوان Al، Fe و کائولینیت این رس‌ها قادرند سولفات را از محلول خاک جذب کرده سپس آن‌را به‌وسیله‌ی تبادل آنیونی به‌خصوص در pH پایین آزاد سازند. اکسی‌سول‌ها و دیگر خاک‌ها با هوادیدگی شدید مناطق گرمسیر و شبه‌گرمسیر ممکن‌است دارای ذخایر بزرگ سولفات، به‌خصوص در افق‌های تحت‌الارضی خود باشند (شکل ۲۱-۱۳). مقادیر زیاد سولفات ممکن است در پیوند با اکسیدهای فلزی در افق اسپدیک در زیر جنگل‌های معتدل قرار گیرند.



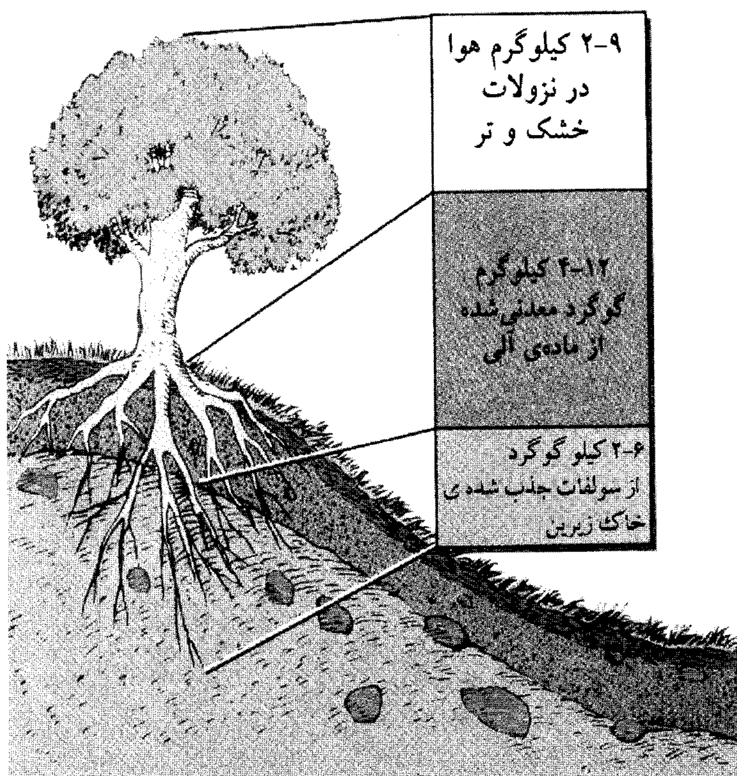
شکل ۲۱-۱۳ توزیع گوگرد آلی و معدنی در خاک‌های معرف از رده‌های مولی‌سول، اسپدوسول و اکسی‌سول. در هر خاک اشکال آلی در افق‌های سطحی غالب می‌باشد. در افق‌های پایین خاک مولی‌سول مقادیر قابل‌توجهی گوگرد معدنی به‌صورت سولفات جذب‌شده و یا کانی سولفات کلسیم وجود دارد. مقادیر نسبتاً کمی نیز گوگرد معدنی در خاک‌های اسپدوسول وجود دارند. هرچند، قسمت اعظم گوگرد خاک‌ها در مناطق حاره‌ای (اکسی‌سول‌ها) به‌صورت سولفات جذب شده در سطوح کلوییدی بخش زیرین خاک می‌باشد.

گوگرد نیوار

نیوار دارای مقادیر متفاوتی از کربونیل سولفید(COS) هیدروژن سولفید H_2S، سولفور دی‌اکسید SO_2 و سایر گازهای گوگرد، و همچنین ذرات گردوغبار گوگرددار می‌باشد، این اشکال نیواری از فوران‌های آتشفشان‌های بیرونی، بخارشدن گوگرد از خاک، آتش‌فشان‌های اقیانوسی، آتش‌زدن زیتوده و نیروگاه‌های صنعتی (مانند نیروگاه تولید برق که به‌وسیله‌ی ذغال‌سنگ غنی از گوگرد کار می‌کند و کارخانه‌های ذوب فلز) حاصل می‌شود در دهه‌های اخیر نقش منابع صنعتی در مناطق خاص غالب می‌باشد.

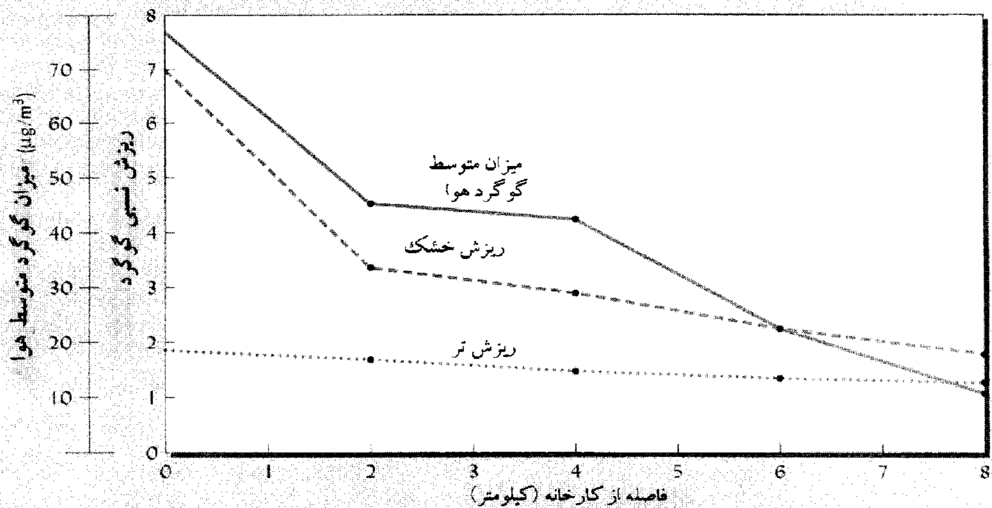
بعضی از مواد در نیوار به سولفات اکسیده می‌شوند و تشکیل H_2SO_4 و نمک‌های سولفاته $CaSO_4$ و $MgSO_4$ می‌دهند. وقتی این مواد جامد و گازها به‌صورت گازها و ذرات خشک به زمین باز می‌گردند، نهشته‌های خشک و درصورت نزول بارندگی نهشته‌های تر نامیده می‌شوند. گرچه نسبت این دو نوع نهشته محل‌به‌محل فرق می‌کند هریک حدود ۰/۵۰ درصد کل گوگرد نزول‌یافته را تشکیل می‌دهد. در مناطق صنعتی ایالت‌های شمال شرقی دارای بیشترین ریزش گوگرد در آمریکا معمولاً در دامنه‌ی ۳۰ تا ۷۵ کیلوگرم درهکتار درسال بوده و درنقاط دورتر از مناطق صنعتی به ۸ تا ۱۵ کیلوگرم و در مناطق خیلی دوردست در غرب آمریکا به ۵-۲ کیلوگرم و در روستاهای آمریکا به ۴-۱ کیلوگرم درهکتار درسال کاهش می‌یابد، بنابراین اثر نزولات نیواری گوگرد تا حد زیادی به موقعیت بستگی دارد. اثرات عمده انتشار صنعتی در فاصله نزدیک منبع انتشار صورت می‌گیرد (شکل ۲۳-۱۳) از طرف دیگر شیوه‌های منطقه‌ای کیفیت هوا و ریزش گوگرد آشکار است. چون اثرات خفیف انتشار فسیلی صدها کیلومتر در پایین‌دست جهت وزش باد مشخص می‌باشد (شکل۲۴-۱۳).

گوگرد نیواری از ۳ طریق به بخشی از نظام خاک و گیاه تبدیل می‌شود (۱) مواد گوگردی ریزشی تر که از نظر اسیدسولفوریک غنی است به‌وسیله‌ی خاک جذب می‌شوند (۲) بعضی از این ریزش‌های تر از طریق شاخ و برگ جذب می‌شوند (۳)بخشی از ریزش خشک مستقیماً به‌وسیله‌ی خاک‌ها، درحالی‌که بخش دیگر به‌وسیله‌ی نبات جذب می‌شوند. ۳۵ -۲۵٪ گوگرد گیاه حتی اگر سولفات خاک نیز کافی باشد از این راه‌ها، جذب می‌شود. در خاک‌های دارای کمبود گوگرد نصف نیاز از نیوار تأمین می‌شود (شکل ۲۲-۱۳).

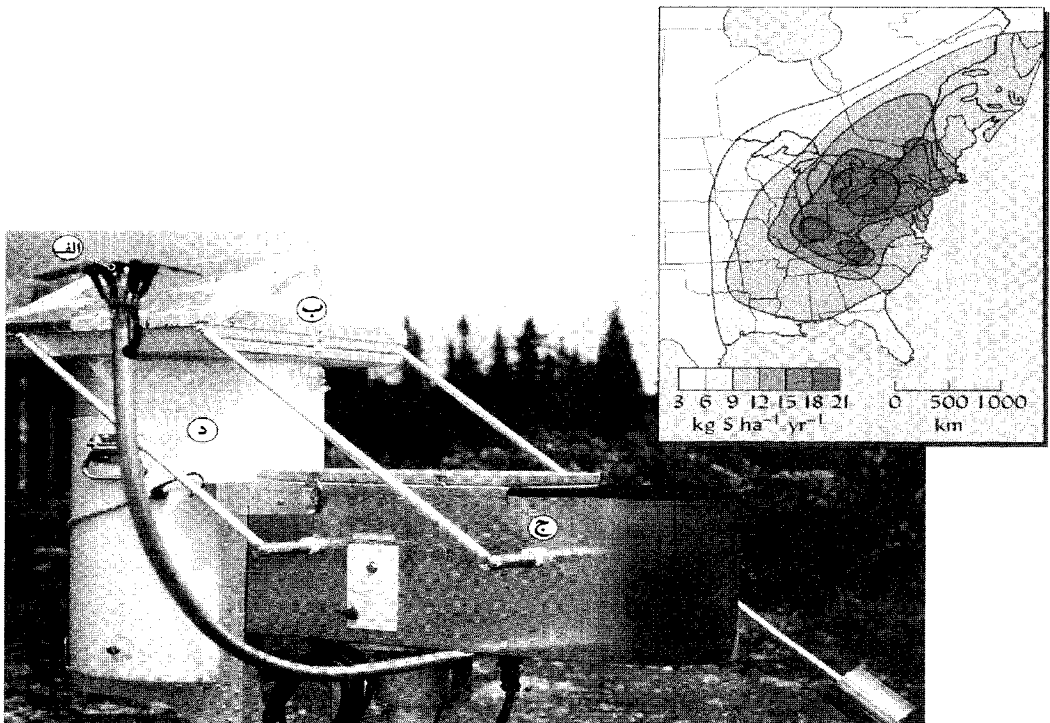


شکل ۲۲-۱۳ نبات، گوگرد را از سه منبع دریافت می‌دارد. گوگرد موجود در گازها و غبار نیوار، سولفات معدنی‌شده از ماده‌ی آلی خاک، و سولفات جذب‌شده از کانی‌های خاک. دامنه‌ی شاخص جذب گوگرد از این منابع نشان داده شده است. وقتی این سه منبع برای رشد بهینه نبات کافی نباشد، مصرف کودهای شیمیایی گوگرد باید انجام گیرد. در مناطق در مسیر وزش باد از نیروگاه‌های سوخت ذغال و کارخانه‌های ذوب فلز ممکن است میزان و آلودگی نیواری از آن‌چه در این‌جا نشان داده شده است به مراتب بزرگ‌تر باشد.

توجه زیست‌محیطی به مقدار زیاد گوگرد نیوار و باران‌های اسیدی حاصل دارای اهمیت عملی زیادی در جنگلداری و کشاورزی می‌باشد. باید تلاش‌های کاهش گوگرد نیوار درمناطق نزدیک نیروگاه‌های صنعتی، که میزان اشکال نیواری گوگرد ممکن‌است چنان زیاد باشد که سبب ایجاد مسمومیت در درختان و نباتات (بدون درنظرگرفتن مشکلات تنفسی مردم) کند مورد تقدیر قرار گیرد. جدا از تاثیرات شدید و آنی منابع صنعتی در مناطق نزدیک آن، بالارفتن میزان گوگرد نیوار و باران‌های اسیدی صدمات شدیدی به انواع خاص بوم‌سامان جنگلی وارد کرده است. از طرف دیگر کاهش مرتب گوگرد نیوار سبب بروز کمبودهای این عنصر در سایر مناطق، به‌خصوص در نباتات زراعی پرمحصول گردیده است. دراین مورد بخشی از نیازهای گوگرد نبات می‌تواند با اضافه‌کردن گوگرد از کودهای شیمیایی مرتفع گردد، و بنابراین سبب بالارفتن هزینه تولید محصولات زراعی می‌گردد.



شکل ۲۳-۱۳ تأسیسات صنعتی مانند نیروگاه‌هایی سوخت زغال‌سنگ و یا نفت خام و همچنین کارخانه‌های ذوب فلز می‌توانند مقدار زیادی گوگرد به خاک‌های نزدیک خود وارد کنند به کاهش سریع ته‌نشینی گوگرد در ارتباط با افزایش فاصله اراضی از منبع انتشار گوگرد توجه کنید ریزش گوگرد نیواری در نزدیک منبع انتشار بیشتر است اما در فواصل طولانی نهشته‌ی خشک و نهشته‌ی تر مساوی هستند. مقررات زیست‌محیطی در بسیاری از کشورها امروزه سبب گشته است که این نیروگاه‌ها انتشار گوگرد خود را به‌مقدار زیادی کاهش دهند.



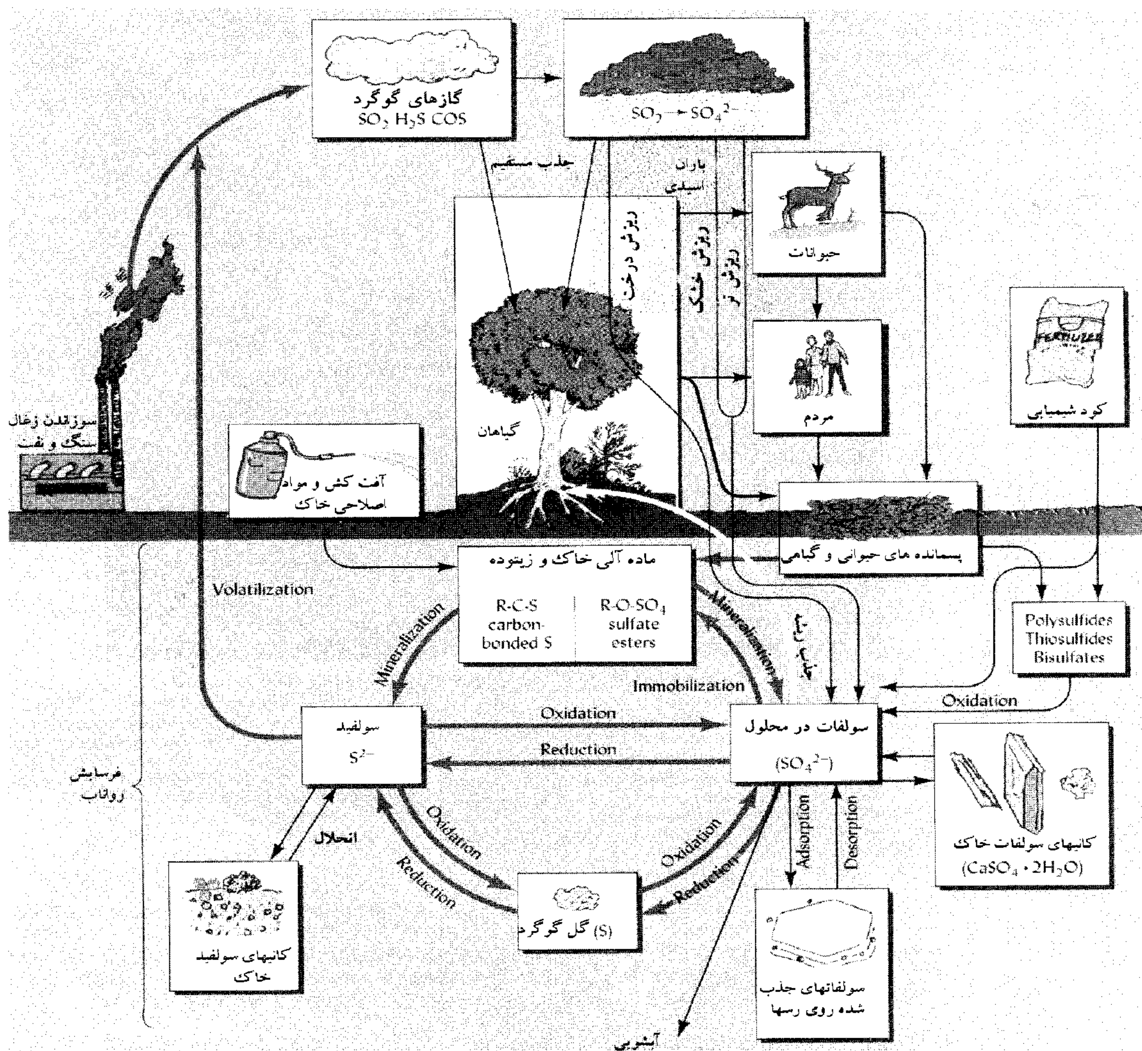
شکل ۲۴-۱۳ وسیله‌ای که در عکس نشان داده شده است هم ریزش خشک و هم ریزش تر گوگرد را جمع‌آوری می‌کند یک حسگر(سنسور) (الف) اهرم سقف کوچک را می‌کشد تا سقف محفظه جمع‌آوری نهشته‌ی خشک (ج)با اولین بارندگی پوشیده شود و محفظه جمع‌آوری نهشته‌ی تر (د)در معرض بارندگی قرار گیرد. وقتی بارندگی متوقف می‌شود، حسگر اهرم را می‌کشد تا سقف به عقب برگشته و روی محفظه رسوب تر را پوشانده تا رسوب خشک بتواند جمع‌آوری گردد. نقشه، توزیع جغرافیایی ریزش گوگرد را از نیوار در آمریکای شرقی نشان می‌دهد. داده‌ها براساس اندازه‌گیری گوگرد در نهشته‌ی تر بوده و با فرض این‌که نهشته‌ی خشک و تر مساوی هستند ترسیم شده است.

۱۹-۱۳ چرخه‌ی گوگرد

تغییر شکلهای عمده‌ای که گوگرد در خاک‌ها به‌خود می‌گیرد در شکل۲۵-۱۳ آمده است. دایره‌ی داخلی رابطه بین چهار شکل عمده این عنصر (سولفید- سولفات،گوگرد آلی و گوگرد عنصری) را نشان می‌دهد. بخش‌های خارجی مهم‌ترین منابع گوگرد، و چگونگی ازدست‌رفتن این عنصر را در نظام نشان می‌دهد.

این چرخه مشابهت قابل‌ملاحظه‌ای با چرخه نیتروژن دارد (شکل‌های ۲۵-۱۳ و ۳-۱۳ را باهم مقایسه کنید). در هر دو مورد نیوار یک منبع مهم عناصر موردنظر می‌باشد؛ هردو عنصر به‌مقدار زیادی در ماده‌ی آلی وجود دارند؛ هر دو در معرض اکسایش و احیای میکروبی قرار می‌گیرند؛ هردو می‌توانند به‌صورت گازی وارد خاک شده و از آن خارج گردند، و هردو تا حدی در معرض آبشویی در شکل آنیونی می‌باشند. فعالیت‌های میکروبی مسوول بسیاری از تغییر شکل‌ها که سرنوشت نیتروژن و گوگرد را رقم می‌زنند.

شکل ۲۵-۱۳ باید به‌طور مرتب همراه با بررسی‌های تفصیلی گوگرد در نباتات و خاک که در صفحات آینده خواهدآمد، موردمرور قرار گیرد.

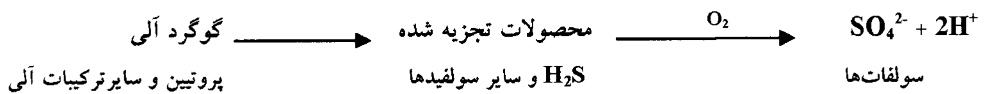


شکل ۲۵-۱۳ چرخه‌ی گوگرد که بعضی از تغییر شکل‌های صورت گرفته را وقتی این عنصر در چرخه نظام خاک، نبات، حیوان، و نیوار قرار می‌گیرد نشان می‌دهد. در افق‌های سطحی تمام خاک‌ها به‌استثنای تعداد اندکی در مناطق خشک، حجم بزرگ گوگرد در شکل آلی می‌باشد، هرچند در افق‌های عمیق‌تر و یا در خاک‌های حفاری‌شده ممکن‌است اشکال مختلف معدنی غالب باشد. واکنش‌های اکسایش- احیایی که گوگرد را از یک شکل به شکل دیگر تبدیل می‌کند، عمدتاً با وساطت ریزجانداران انجام می‌شود.

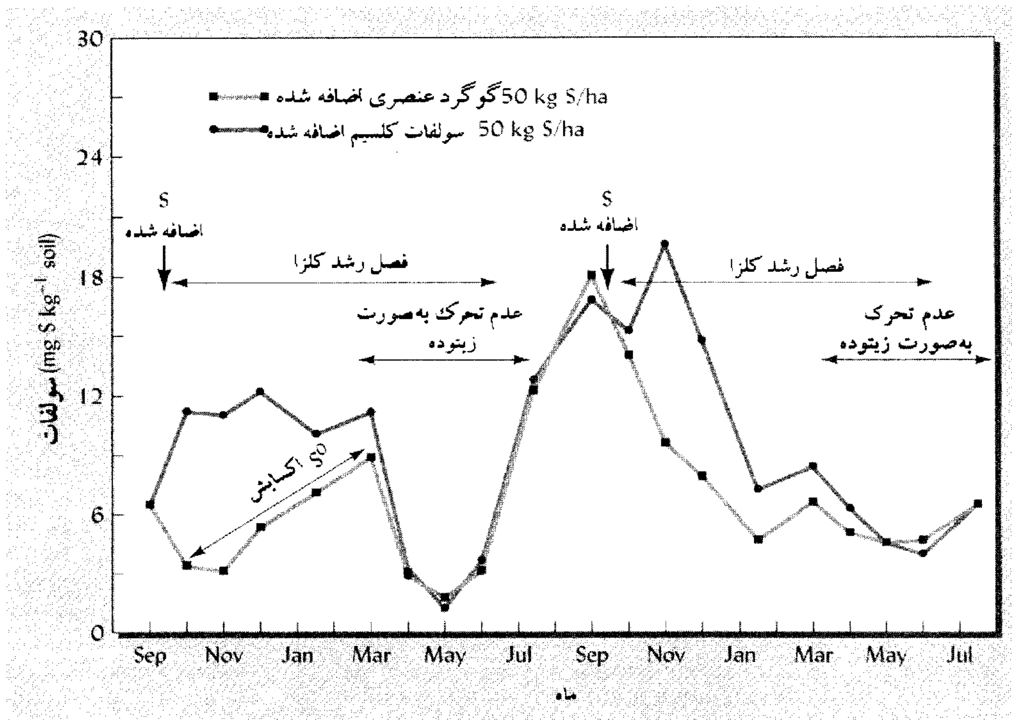
۲۰-۱۳ رفتار ترکیبات گوگردی در خاک‌ها

معدنی شدن

گوگرد از نظر جذب به‌وسیله‌ی گیاه و ریزجانداران و حرکت در چرخه، بسیار شبیه نیتروژن رفتار می‌کند. اشکال آلی گوگرد باید به‌وسیله‌ی ریزجانداران معدنی شود تا گوگرد بتواند جذب گیاه گردد. سرعت و میزان انجام این فرایند در گرو همان عوامل محیطی مؤثر در معدنی‌شدن نیتروژن از جمله رطوبت، تهویه، دما و اسیدیته می‌باشد. وقتی شرایط برای فعالیت عمومی میکروبی مناسب است، معدنی‌شدن گوگرد صورت می‌پذیرد. بعضی از ترکیبات آلی گوگرد خاک که دارای سهولت تجزیه‌اند، استرسولفات‌ها می‌باشند که ریزجانداران یون سولفات را مستقیماً از آن‌ها آزاد می‌سازند، هرچند در بیشتر مواد آلی خاک، گوگرد در حالت احیاء و در پیوند با اتم‌های کربن پروتیین‌ها و اسیدهای آمینه می‌باشد. در حالت آخر واکنش معدنی‌شدن ممکن است به‌صورت زیر نشان داده شود:



از آن‌جاکه آزادشدن سولفات قابل‌استفاده، وابسته به فرایندهای میکروبی است، عرضه‌ی سولفات قابل‌استفاده با تغییر فصل و گاهی با تغییرات روزانه و شرایط محیطی در نوسان است (شکل ۲۶-۱۳). و این امر اندازه‌گیری و برآورد گوگرد قابل‌استفاده را همانند نیتروژن مشکل می‌سازد.



شکل ۲۶-۱۳ تغییرات فصلی شکل سولفات از گوگرد موجود در افق سطحی یک خاک (Argixerolls) که در ایالت اورگن برای کشت کلزای روغنی به‌کار می‌رود. این نبات در پاییز کاشته می‌شود و در طول زمستان به آهستگی رشد می‌کند، و سپس در ماه‌های سرد بهار به شدت رشد می‌کند. داده‌ها مربوط به کرت‌هایی است که گوگرد عنصری و یا سولفات کلسیم دریافت داشته‌اند. پیکان‌های عمودی تاریخ‌هایی را نشان می‌دهد که این اصلاح‌کننده‌ها مصرف شده‌اند. توجه داشته باشید که غلظت سولفات در خاک‌هایی‌که سولفات کلسیم دریافت داشته‌اند در چند ماه اول بعد از مصرف بالا بوده است، درحالی‌که گوگرد عنصری به آرامی براثر اکسایش میکروبی به سولفات تبدیل گشته است کاهش آشکار در غلظت گوگرد با گرم‌شدن خاک در اثر عدم تحرک سولفات در زیتوده میکروبی و جذب آن به‌وسیله‌ی کلزا ایجاد شده است. در آخر تابستان و اول بهار وقتی جذب سولفات به‌وسیله‌ی نبات کاهش یافته و معدنی‌شدن میکروبی به سرعت انجام شده است، غلظت سولفات به بالاترین مقدار رسیده است. حرکت سولفات حل شده از لایه‌های زیرین به لایه‌های سطحی بالای خاک ممکن است در طول هوای گرم خشک صورت گرفته باشد.

عدم تحرک گوگرد

آلی‌شدن یا عدم تحرک اشکال معدنی گوگرد وقتی صورت می‌گیرد که مواد آلی انرژی‌زای دارای گوگرد کم به خاک اضافه می‌گردد. سازوکار به‌نظر می‌رسد همانند عدم تحرک نیتروژن است. مواد دارای انرژی زیاد سبب تقویت رشد میکروبی و تبدیل سولفات معدنی به اندام‌های میکروبی می‌شود. نسبت C/S بیشتر از ۴۰۰ معمولاً سبب عدم تحرک گوگرد می‌شود. وقتی فعالیت میکروبی فروکش می‌کند سولفات معدنی در خاک آشکار می‌شود. شیوه عدم تحرک گوگرد در خاک‌ها همانند نیتروژن بوده و مطرح می‌کند که گوگرد شبیه نیتروژن در ماده‌ی آلی خاک ممکن است با کربن آلی به یک نسبت معقول همراه باشد. نسبت بین کربن نیتروژن و گوگرد برای تعدادی از خاک‌ها در سه قاره مختلف در جدول۱۳-۱۳ ارائه شده است نسبت $C/N/S$ ۱۰۰/۸/۱ یک شاخص معمول می‌باشد.

درطول تجزیه مواد آلی خاک چندین گاز حاوی گوگرد مانند هیدروژن سولفید (H_2S)، کربن دی‌سولفید (CS_2) کربونیل‌سولفید(COS) و متیل مرکاپتال (CH_3SH) تشکیل می‌شوند که همگی در شرایط غیرهوازی به‌وجود می‌آیند. هیدروژن سولفید معمولاً در خاک‌های ماندابی براثر احیا سولفات به‌وسیله‌ی باکتری‌های غیرهوازی به‌دست می‌آید. بقیه از تجزیه میکروبی اسیدهای آمینه حاوی نیتروژن به‌دست می‌آید. اگرچه این گازها می‌توانند به‌وسیله‌ی کلویید خاک جذب شوند، بعضی وارد نیوار شده که بعد از تغییرات شیمیایی به خاک باز می‌گردند.

جدول ۱۳-۱۳ میانگین نسبت $C/N/S$ در دسته‌ای از خاک‌ها

محل	تشریح و تعداد نمونه‌ها	نسبت $C/N/S$	محل	تشریح و تعداد نمونه‌ها	نسبت $C/N/S$
اسکاتلندشمالی	کشاورزی – خاک‌های غیرآهکی(۴۰)	۱۰۴/۷/۱	اورگن	خاک‌ها متفاوت کشاورزی (۱۶)	۱۴۳/۱۰/۱
مینه‌سوتا امریکا	مولی‌سول (۶)	۷۴/۷/۱	استرالیای شرقی	خاک‌های اسیدی(۱۲۸)	۱۲۶/۸/۱
مینه‌سوتا امریکا	اسپدوسول (۲۴)	۱۰۸/۸/۱	استرالیای شرقی	خاک‌های قلیایی (۲۷)	۹۲/۷/۱
			سوئد	انسپتی‌سول	۶۹/۷/۱

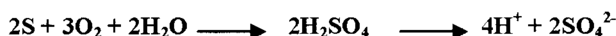
۱۳-۲۱ اکسایش و احیای گوگرد

فرایند اکسایش گوگرد

در طول تجزیه‌ی میکروبی ترکیبات کربن آلی در پیوند با گوگرد، سولفیدها همراه با سایر مواد اکسیدنشده کامل مانند گوگرد عنصری (S^0)، تیوسولفات‌ها($S_2O_3^{-2}$) پلی‌تیونات ($S_{2X}O_{3X}^{2-}$) تولید می‌شوند. این مواد احیاشده در معرض اکسایش قرار می‌گیرند، درست مانند ترکیبات آمونیوم که بعد از تجزیه‌ی مواد آلی نیتروژن‌دار به‌دست می‌آید. واکنش‌های اکسایش برای سولفید هیدروژن و گوگرد عنصری ممکن است به‌صورت زیر تشریح شود:



$$H_2S + 2O_2 \longrightarrow H_2SO_4 \longrightarrow 2H^+ \longrightarrow + SO_4^{2-}$$

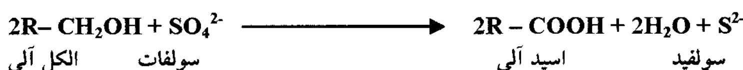


$$2S + 3O_2 + 2H_2O \longrightarrow 2H_2SO_4 \longrightarrow 4H^+ + 2SO_4^{2-}$$

اکسایش بعضی از ترکیبات گوگردی ازجمله سولفیت‌ها(SO_3^{2-}) و سولفید(S^{2-}) یک اکسایش محض شیمیایی بوده درحالی‌که اکثراً اکسایش گوگرد سرشت زیست‌شیمی دارد که به‌وسیله‌ی چندین باکتری خودپرور از جمله ۵ گونه جنس تیوباسیلیوس انجام می‌شود. از آن‌جاکه نیازهای محیطی و مقاومت این ۵ گونه بسیار متفاوت می‌باشد، فرایند اکسایش گوگرد در دامنه‌ی وسیعی از شرایط خاک انجام می‌شود، برای‌مثال اکسایش ممکن‌است در pH متغیردر فاصله کمتراز ۲ تا بیشتراز ۹ انجام می‌گیرد، این برخلاف اکسایش نیتروژن است که در فاصله کمتری متغیر می‌باشد.

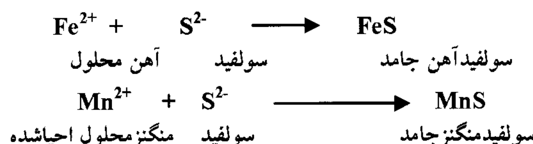
فرایند احیاء گوگرد

یون‌های سولفات همانند یون‌های نیترات در شرایط غیرهوازی ناپایدار بوده و به‌وسیله‌ی تعدادی از باکتری‌ها از دو جنس *Desulfovibro* (۵گونه) و *Desulfotomaculum* (سه گونه) به یون سولفید تبدیل می‌شوند. این میکروب‌ها اکسیژن موجود در سولفات را برای اکسایش مواد آلی به کار می‌برند. واکنش شاخص که بیانگر احیای گوگرد همراه با اکسایش ماده‌ی آلی باشد به شکل زیر است:



$$2R-CH_2OH + SO_4^{2-} \longrightarrow 2R-COOH + 2H_2O + S^{2-}$$

در خاک‌ها با زه‌کشی ناقص، یون سولفید بلافاصله با آهن و منگنز که در شرایط غیرهوازی در شکل احیاء وجود دارند، وارد واکنش می‌شود. پیوند باآهن احیاشده و تشکیل سولفیدآهن از سمیت آهن در برنجزار و باتلاق‌ها ممانعت می‌کند. این واکنش ممکن‌است به‌صورت زیر بیان شود:



یون سولفید همچنین براثر آبکافت هیدروژن سولفید، گازی تشکیل می‌دهد که دارای بوی تخم‌مرغ گندیده در مناطق باتلاقی و مردابی می‌باشد. احیاء گوگرد در سایر ین‌های حاوی گوگرد به‌غیر از سولفات، ممکن‌است انجام گیرد. برای نمونه سولفیت‌ها (SO_3^{2-})، تیوسولفات ($S_2O_3^{2-}$) و گوگرد عنصری (S^0) به‌آسانی به‌وسیله‌ی باکتری‌ها و سایر موجودات به سولفید تبدیل می‌شوند.

اکسایش و احیاء ترکیبات گوگرد معدنی نقش مهمی در تعین مقدار سولفات‌های (شکل غذایی قابل‌استفاده‌ی نبات) موجود در خاک در هر زمان دارد. همچنین حالت اکسایش گوگرد، عامل مهمی در اسیدیته‌ی خاک و زه‌کشی آب خاک می‌باشد.

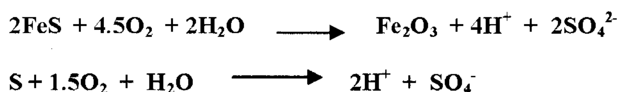
اکسایش گوگرد و اسیدیته

واکنش‌های اکسایش گوگرد عنصری (S) و هیدروژن سولفید (H_2S) نشان می‌دهد که همانند اکسایش نیتروژن، اکسایش گوگرد یک فرایند اسیدی‌شدن است. برای هر اتم گوگرد که اکسیده می‌شود، دو یون هیدروژن تشکیل می‌گردد. به‌خاطر همین واکنش اسیدی‌شدن، گوگرد می‌تواند برای کاهش pH در خاک‌های شدیداً قلیایی و سدیمی مناطق خشک به‌مقداری که برای رشد نبات و مهار بیماری مطلوب‌تر است، مصرف گردد (بخش ۹-۱۰). اسیدیته ایجادشده براثر اکسیده‌شدن گوگرد هنگام انتخاب کود باید مورد توجه باشد، زیرا بعضی از مواد دارای گوگرد عنصری بوده و ممکن است pH خاک را به‌طور غیرمطلوب پایین آورند.

اضافه‌شدن گوگرد نیوار به خاک‌ها از طریق بارندگی سبب افزایش اسیدیته می‌شود[1]. ممکن است اسیدیته‌ی آن‌چه باران‌های اسیدی نامیده می‌شود ۴ و یا کمتر باشد (فصل ۶-۹ را مشاهده کنید). برعکس pH آب باران بدون آلودگی از ۵/۶ در مناطق مرطوب تا بیش از ۷ در مناطق خشک متغیر است، زیرا گردوغبار قلیایی با آب باران هنگام سقوط وارد واکنش می‌شود.

اسیدیته خیلی شدید خاک: اثرات اسیدی اکسیده‌شدن گوگرد می‌تواند شرایط اسیدیته شدیدی را در خاک به‌بار آورد. این مسأله زمانی صورت خواهد پذیرفت که اراضی ساحلی پوشیده از آب شور دریا، زه‌کشی شده و به زیر کشت آورده شوند. آب اقیانوس‌ها و نهشته‌های دریاچه‌ها دارای مقادیر نسبتاً زیادی گوگرد می‌باشد. در طول ایامی که خاک زیر آب است، سولفات‌ها به سولفیدهای عموماً پایدار آهن و منگنز احیا می‌شود. اگر دوران‌هایی با خشکی نسبی وجود داشته باشد، گوگرد عنصری می‌تواند با اکسایش جزیی سولفیدهای باقی‌مانده در خاکی که مستغرق بوده، تشکیل شود. میزان سولفید و گوگرد عنصری خاک‌های این باتلاق‌های جزرومدی صدها بار بیشتر از مقدار آن‌ها در خاک‌های نقاط مرتفع قابل‌مقایسه می‌باشد. رسوبات لایروبی‌شده از بندرگاه‌های ساحلی دارای مقدار زیادی از اشکال احیاءشده‌ی گوگرد مانند سولفیدهای آهن سیاه‌رنگ می‌باشند.

اگر خاک‌های دارای سولفید زیاد زه‌کشی شوند، سولفید ویا گوگرد عنصری به‌سرعت اکسیده شده و تشکیل اسیدسولفوریک می‌دهد:


$$2FeS + 4.5O_2 + 2H_2O \longrightarrow Fe_2O_3 + 4H^+ + 2SO_4^{2-}$$
$$S + 1.5O_2 + H_2O \longrightarrow 2H^+ + SO_4^-$$

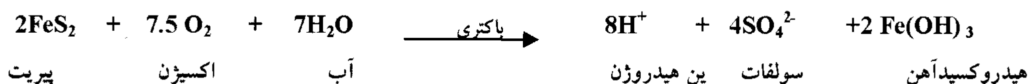
ممکن است pH خاک خیلی کاهش یافته و به ۱/۵ برسد، میزانی که در خاک‌های معمول نقاط مرتفع مشاهده نمی‌شود. رشد گیاه مسلماً نمی‌تواند در این pH صورت گیرد. به‌علاوه میزان سنگ آهک لازم برای خنثی‌کردن اسیدیته چنان بالاست که اصلاح این خاک‌ها با آهک‌دادن غیرعملی می‌باشد.

[1] - توجه داشته باشید که بخشی از این اسیدیته از اکسیدهای نیتروژن ناشی می‌شود، آن‌ها در نیوار اکسیده شده و به اسیدنیترو و اسیدنیتریک تبدیل می‌گردند. گوگرد و نیتروژن مشترکاً مسوول این مسأله می‌باشند.

اراضی بسیار وسیعی با خاک‌های باتلاقی دارای گوگرد زیاد (که سولفاکوپت[۱] و سولفاکونت[۲] طبقه‌بندی شده و معمولاً خاک‌های اسیدسولفات[۳] و یا کت‌کلی[۴] نامیده می‌شوند.) در جنوب شرقی آسیا و در امتداد ساحل اقیانوس اطلس در جنوب آمریکا و آفریقا وجود دارند. آنها همچنین در اراضی جزرومدی در امتداد ساحل چندین منطقه دیگر، ازجمله هلند و ساحل‌های جنوب شرقی و غرب آمریکا قرار گرفته‌اند. مادامی‌که این خاک‌ها به‌صورت غرقابی باشند، گوگرد احیاشده اکسیده نمی‌شود و pH خاک درحد ایجاد محدودیت پایین نمی‌آید، درنتیجه، تولید برنج بعضی مواقع در این خاک‌ها ممکن می‌باشد.

حضور خاک‌هایی که قابلیت تولید اسیدیته شدید را با اکسایش گوگرد داشته باشند، به اراضی باتلاقی ساحلی که هم‌اکنون تشریح گردید، منحصر نمی‌شود. نهشته‌های دریایی، که احتمالاً میلیون‌ها سال قبل در ارتباط با باتلاق‌های ساحلی بوده‌اند، اکنون تشکیل سنگ رگولیت داده و مناطق بزرگی را پوشانده‌اند که دیگر به‌وسیله‌ی اقیانوس‌ها و باتلاق‌ها غرقابی نمی‌باشند (فصل۹-۲را مشاهده کنید). دشت‌های ساحلی، امروزه معمولاً در زیر خود دارای این نهشته‌ها می‌باشند. همچنین بسیاری از انواع شیل‌ها و سایر سنگ‌های نهشته‌ای ممکن‌است دارای ترکیبات احیاشده‌ی گوگرد در شکل کانی سولفید آهن یا پیریت[۵] باشند(تابلو رنگی ۲۴ را مشاهده کنید). این سنگ‌ها معمولاً با نهشته‌های زغال‌سنگ که آن‌ها نیز میلیون‌ها سال پیش در مناطق باتلاقی تشکیل شده‌اند، همراه می‌باشد.

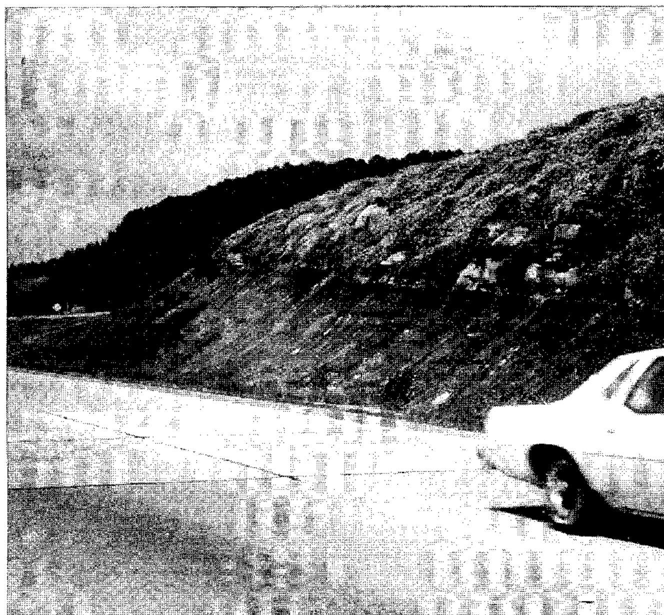
خاک‌برداری برای جاده‌سازی و عملیات استخراج زغال‌سنگ اغلب سبب آشکارشدن مواد پیریتدار مدفون‌شده بسیار قدیمی می‌گردد. وقتی پیریت درتماس با آب‌وهوا قرار گیرد، واکنش خالص زیر که به‌وسیله‌ی باکتری‌های اکسیدکننده‌ی گوگرد تسهیل می‌شود، صورت می‌پذیرد.



$$2FeS_2 + 7.5\,O_2 + 7H_2O \xrightarrow{\text{باکتری}} 8H^+ + 4SO_4^{2-} + 2\,Fe(OH)_3$$

پیریت اکسیژن آب یِن هیدروژن سولفات هیدروکسیدآهن

۴ مول اسیدسولفوریک تفکیک شده به یِن‌های هیدروژن و سولفات که به‌وسیله‌ی واکنش بالا تولید می‌شود، ناشی از اکسیده‌شدن سولفید و آهن دوظرفیتی در پیریت همراه با آبکافت است. تولید اسید از این واکنش مسأله‌ای بزرگ است که از رشد پوشش گیاهی در مناطق آلوده جلوگیری کرده (شکل ۲۷-۱۳) و سبب می‌شود که حفظ اراضی به‌هم‌خورده براثر عملیات معدن‌کاوی بسیار مشکل گردد. اگر مسأله بدون مهار پیش رود، ممکن است اسیدها به‌داخل نهرهای نزدیک آبشویی شوند. هزاران کیلومتر از نهرها به این ترتیب آلوده شده‌اند. آب و سنگ‌ها در این نهرها اغلب دارای رنگ نارنجی حاصل از ترکیبات آهن در زهاب اسیدی می‌باشند (تابلو رنگی ۲۶ را مشاهده کنید).



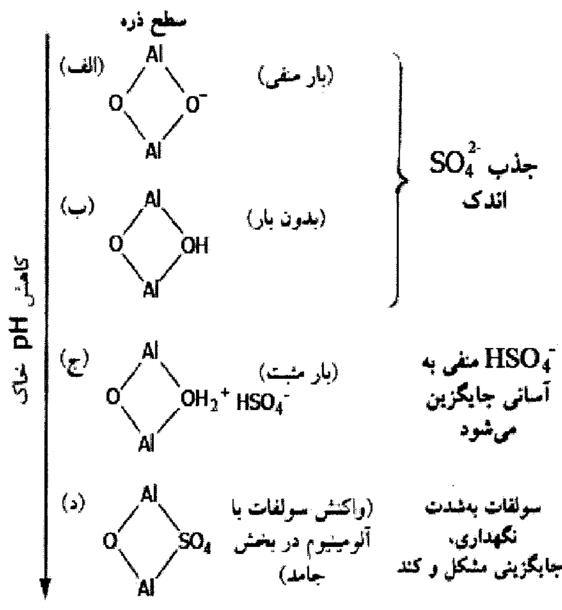
شکل ۲۷-۱۳ ساخت این بزرگراه بین ایالتی سبب برش و ظاهرشدن چندین لایه از سنگ‌های رسوبی شده است. یکی از این لایه‌ها دارای سولفید احیا شده بود. در مجاورت با آب‌وهوا این لایه در اثر اکسایش مواد سولفید، مقدار زیادی اسیدسولفوریک تولید نمود. به نبود رشد پوشش گیاهی پایین‌تر از منطقه‌ای که این اسیدها زه‌کشی می‌شوند توجه کنید.

1 -Sulfaquept
2 -Sulfaquent
3 -Acid sulfate soil
4 -Catclays
5 -Pyrite

۲۲-۱۳ نگهداری گوگرد و تبادل آن

یون سولفات شکلی از گوگرد است که اکثر نباتات گوگرد مورد نیاز خود را در آن شکل از خاک جذب می‌کنند از آن‌جاکه بسیاری از ترکیبات سولفات کاملاً محلولند چنانچه سولفات به‌خصوص در مناطق مرطوب، جذب کلوییدها نشده باشد به‌آسانی از خاک آبشویی می‌شود. همان‌گونه که در فصل ۸ گفته شد، خاک‌ها دارای مقداری ظرفیت تبادل آنیونی می‌باشند که در ارتباط با پوشش اکسیدهای آهن و آلومینیوم و تا حدی مقدار رس‌های سیلیکاتی ۱:۱ در آن‌ها می‌باشد. یون سولفات به‌وسیله‌ی بارهای مثبت که مشخصه‌ی خاک‌های اسیدی دارای این رس‌ها جذب می‌شود. آن‌ها همچنین به‌طور مستقیم با گروه‌های هیدروکسید که در سطح این رس‌ها نمایان شده‌اند، وارد واکنش می‌شود (شکل۲۸-۱۳). سازوکار جذب سولفات را در بعضی اکسیدهای آهن و آلومینیوم و رس‌های نوع ۱:۱ تشریح می‌کند. توجه کنید که جذب سطحی سولفات در مقادیر پایین pH هنگامی‌که بارهای مثبت برروی سطح کانی غالب می‌شوند، افزایش می‌یابد. بخشی از سولفات با ذرات رس وارد واکنش شده و در آن‌ها به‌شدت نگهداری می‌شوند، به‌طوری‌که جذب آن به‌وسیله‌ی نباتات، و یا آبشویی آن در داخل خاک بسیار جزیی است.

در مناطق گرم مرطوب، مقدار گوگرد خاک‌های سطحی به‌طور شاخص پایین می‌باشد. هرچند سولفات بیشتری ممکن‌است به‌وسیله‌ی اکسیدهای آهن و آلومینیوم و رس‌های سیلیکاتی نوع ۱:۱ نگهداری شده و در افق‌های تحت‌الارضی التی‌سول‌ها و اکسی‌سول‌های این مناطق تجمع یابد (شکل ۲۱-۱۳). علایم کمبود گوگرد معمولاً در اوایل فصل رشد در روی التی‌سول‌های جنوب شرقی آمریکا، به‌خصوص در خاک‌های سطحی شنی با ماده‌ی آلی اندک، مشاهده می‌شود. هرچند ممکن است علایم با رشد نبات و رسیدن ریشه‌ها به افق‌های عمیق‌تر که سولفات درآن نگهداری شده است، ناپدید گردد.



شکل ۲۸-۱۳ اثر کاهش pH خاک بر جذب سولفات به‌وسیله‌ی رس‌های سیلیکاتی نوع ۱:۱ و اکسیدهای آهن و آلومینیوم (درشکل واکنش با لایه آلومینیوم سطحی نشان داده شده است). در pH بالا(الف) ذرات دارای بارمنفی می‌باشند، ظرفیت تبادل کاتیونی بالا بوده و کاتیون‌های بازی جذب شده و سولفات به‌وسیله‌ی بار منفی دفع می‌شود. با افزایش اسیدیته (ب) یون‌های H^+ به‌وسیله‌ی سطح کانی جذب شده و بار منفی حذف شده اما هنوز یون SO_4^{2-} جذب نشده است درpH کمتر(ج) یون‌های H^+ بیشتر جذب سطح کلویید شده که سبب ایجاد بار مثبت و جذب یون SO_4^{2-} گردیده است که با سایر آنیون‌ها قابل‌تبادل است. در pH به‌مراتب کمتر (د) یون SO_4^{2-} مستقیماً با Al وارد واکنش شده و بخشی از بلور تبدیل شده که تبادل و جذب آن مشکل می‌باشد.

جذب سولفات و آبشویی کاتیون‌های بازی

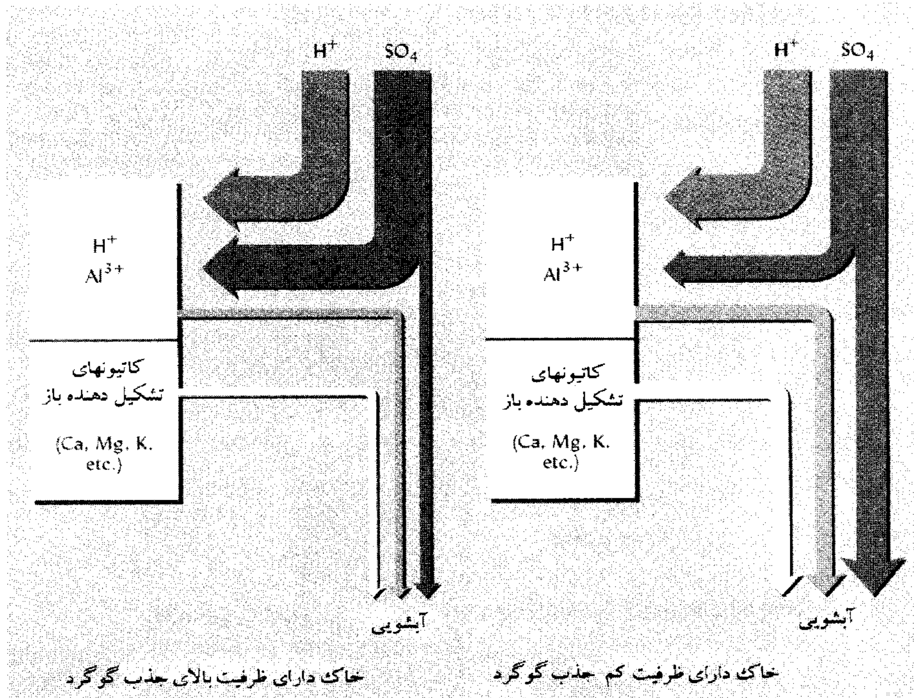
وقتی ین سولفات از خاک شسته می‌شود، معمولاً با کاتیون‌های هم‌ظرفیت مانند کلسیم، منیزیم و سایر کاتیون‌های بازی همراه است. در خاک‌های با ظرفیت بالای جذب سولفات، آبشویی سولفات پایین بوده و هدررفت کاتیون‌های همراه نیز پایین می‌باشد (شکل۲۹-۱۳). برعکس، آبشویی سولفات از خاک‌های با ظرفیت کم جذب سولفات، معمولاً بالا بوده و مقدار زیادی کاتیون‌های بازی را با خود به‌همراه دارد. بنابراین، گوگرد به‌عنوان یک نگهدارنده‌ی غیرمستقیم این کاتیون‌ها در محلول خاک ملحوظ می‌گردد. این مسأله در خاک‌های جنگلی که مقادیر زیادی باران‌های اسیدی دریافت می‌دارند، دارای اهمیت بسیار زیادی است.

۲۳-۱۳ گوگرد و حفظ حاصلخیزی خاک

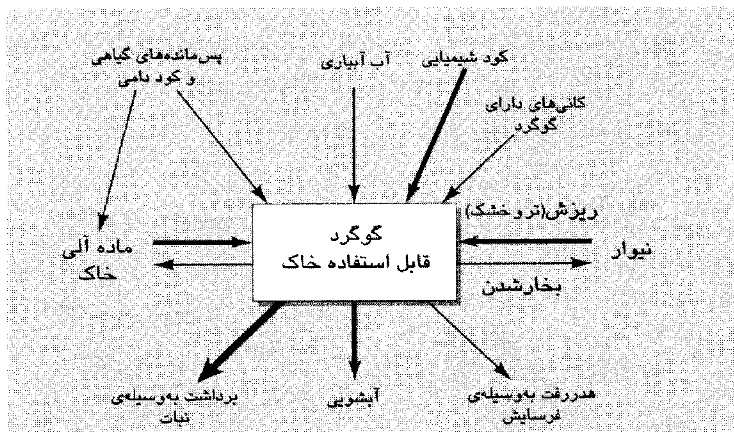
شکل ۳۰-۱۳ عمده دست‌آورد و هدررفت گوگرد را در خاک نشان می‌دهد. مسأله حفظ مقادیر کافی گوگرد برای تغذیه‌ی عناصر معدنی گیاهان به‌طور روز افزونی اهمیت پیدا می‌کند. گرچه امکان کمبود گوگرد از نیتروژن، فسفر و پتاسیم کمتر است، برداشت روبه افزایش

به‌وسیله‌ی گیاهان ایجاب می‌کند که درمورد کمبود مواظب باشیم. در بعضی از بخش‌های جهان، به‌خصوص در علف‌زارهای نیمه‌خشک، گوگرد هم‌اکنون محدودکننده‌ترین عنصر غذایی بعد از نیتروژن می‌باشد.

پس‌ماندهای گیاهی و کود دامی می‌توانند در جبران گوگرد برداشت‌شده به‌وسیله‌ی گیاه موثر باشند، اما این منابع معمولاً در بازچرخ آن بخش از گوگرد کمک می‌کنند که قبلاً در مزرعه وجود داشته است. در مناطقی با گوگرد پایین اتکای بیشتر بر مصرف کود شیمیایی می‌باشد. مصرف مرتب مواد دارای گوگرد درحال حاضر برای تولید یک محصول خوب در اراضی وسیع دور از کارگاه‌های صنعتی لازم است. مسلماً نیاز بیشتری برای استفاده از گوگرد در آینده وجود خواهد داشت.



شکل ۲۹-۱۳ نمودار نشان‌دهنده‌ی هدررفت کاتیون‌ها براثر ظرفیت جذب سولفات به‌وسیله‌ی خاک‌های جنگلی می‌باشد. وقتی باران‌های اسیدی حاوی یون‌های سولفات (SO_4^{2-}) و هیدروژن(H^+) بر روی خاک‌های با ظرفیت بالای جذب سولفات فرو می‌ریزد (سمت چپ)، مقدار اندکی سولفات همراه با مقادیر بسیار اندکی از کاتیون‌هایی مانند Ca^{2+} و Mg^{2+} برای آبشویی آماده می‌باشند. وقتی باران‌های اسیدی بر روی خاک‌هایی با ظرفیت اندک جذب سولفات فرو می‌ریزد (سمت راست)، اکثر سولفات در محلول خاک باقی‌مانده و همراه با مقادیری کاتیون‌های معادل مانند Ca^{2+} و Mg^{2+} از خاک آبشویی می‌یابد. ین‌های Al^{3+}، که معمولاً جایگزین ین‌های Ca^{2+} و Mg^{2+} در همتافت جذب می‌شوند، برای بسیاری از گونه‌های جنگلی سمی می‌باشند. این حداقل می‌تواند به‌عنوان بخشی از اثرات منفی باران‌های اسیدی بر روی مناطق جنگلی به‌حساب آید.



شکل ۳۰-۱۳ دست‌آوردها و هدررفت‌های عمده‌ی گوگرد قابل‌استفاده خاک، ضخامت پیکان‌ها بیانگر میزان نسبی گوگرد دخیل در هر فرایند در شرایط متوسط است گرچه تغییرات عمده‌ای در مزرعه صورت می‌گیرد.

۲۴-۱۳ نتیجه‌گیری نهایی

گوگرد و نیتروژن از نظر چگونگی چرخه در خاک‌ها بسیار مشابه می‌باشند. هر دو به‌وسیله‌ی کلوییدهای خاک در اشکال قابل‌استفاده کُند نگهداری می‌شوند. هر دو در پروتیین و سایر اشکال آلی به‌عنوان بخشی از ماده‌ی آلی خاک وجود دارند. آزادشدن آن‌ها به یون‌های معدنی (SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+) که در این اشکال برای گیاهان عالی قابل‌استفاده می‌باشند، به‌وسیله‌ی ریزجانداران صورت می‌گیرد. موجودات غیرهوازی قادرند که این عناصر را به اشکال گازی تبدیل کنند که بعداً به نیوار رها شده، و به گازهای مشابهی که از کارخانه‌های صنعتی و موتور اتومبیل‌ها آزاد می‌شوند، ملحق گردند. این گازها برروی گیاهان، خاک‌ها و اشیاء تحت واژه باران اسیدی ریزش می‌نمایند. این ریزش‌ها دارای پیامدهای خطرناکی برای جنگلداری، کشاورزی و جامعه به‌طور کل می‌باشند.

تفاوت‌های عمده‌ای بین نیتروژن و گوگرد وجود دارد. گرچه مقادیر زیادی از نیتروژن و گوگرد خاک در ترکیبات آلی وجود دارند، اما بخش بزرگ‌تری از گوگرد خاک در ترکیبات معدنی، به‌خصوص در مناطق خشک‌تر به‌صورت گچ ($CaSO_4 , 2H_2O$) در خاک تحت‌الارض وجود دارد. بعضی از موجودات خاک دارای توانایی تثبیت گاز عنصری N_2 به ترکیبات قابل‌استفاده نبات می‌باشند. فرایند مشابهی در گوگرد وجود ندارد. نیتروژن که در مقادیر بسیار بیشتر از گوگرد به‌وسیله‌ی گیاهان جذب می‌شود، باید به‌طور مرتب به‌وسیله‌ی پس‌ماندهای گیاهی آلی، کود دامی و یا کود شیمیایی جبران گردد.

در مناطق روستایی دور از شهرها و کارخانه‌های صنعتی، کمبود گوگرد در گیاهان به‌طور معمول درحال افزایش است. در نتیجه‌ی برداشت روبه افزایش گوگرد به‌وسیله‌ی گیاهان پرمحصول و کاهش مصرف مطابق روش‌های معمول در خاک‌ها، این عنصر احتمالاً به‌عنوان یک جزء اصلی در برنامه‌های حاصلخیزی خاک به نیتروژن خواهد پیوست.

مسایل متعدد زیست‌محیطی حاد براثر مقادیر زیاد گوگرد و نیتروژن در اشکال خاص ایجاد گردیده است، درحالی‌که آلودگی آب به‌وسیله‌ی نیترات‌ها احتمالاً بیشترین مسایل را در رابطه با نیتروژن دارا می‌باشند، ریزش اسیدی و زه‌کشی اراضی اسید سولفات (کت‌کلی) مسایل اصلی زیست‌محیطی قابل‌توجه در ارتباط با چرخه‌ی گوگرد درخاک‌ها می‌باشد. با استفاده از دانش خود درمورد چرخه‌ی نیتروژن و گوگرد حال می‌توان کار زیادی را برای تخفیف مسایل زیست‌محیطی در هر دو عنصر انجام داد. هرچند مسایل زیادی درمورد واکنش‌های نیتروژن و گوگرد و خاک و محیط باقی‌مانده است که باید آن‌ها را فراگرفت.

سووالات برای مطالعه

۱- ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از طریق کود دامی و کود شیمیایی برای زراعت ذرت مصرف شد، اما فقط ۲۰۰ کیلوگرم در ذرت برداشت‌شده وجود داشت، ۱۰۰ کیلوگرم دیگر که به‌وسیله‌ی ذرت برداشت نشده است چه شده است؟

۲- مزایا و مضار گوگرد و نیتروژن اضافه‌شده سالانه را به‌وسیله‌ی انسان و به‌وسیله‌ی فرایندهای طبیعی مورد بحث قرار دهید.

۳- کلش گندم اضافه شده به یک خاک، که دارای ۱۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود حدوداً به‌میزان ۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار است. دوهفته بعد آزمون خاک نشان داد که نیترات در خاک وجود ندارد، این وضعیت را چگونه توضیح می‌دهید؟

۴- تولید دام به‌صورت صنعتی دارای بعضی مسایل زیست‌محیطی و سلامتی ازنظر نیتروژن می‌باشد، آن‌ها کدامند و چگونه می‌توانند مدیریت شوند؟

۵- چه تفاوت‌هایی ازنظر نیترات موجود در جویبارهایی که حوزه جنگلی را تخلیه می‌کنند با جویبارهایی که اراضی کشاورزی را تخلیه می‌کنند وجود دارد؟

۶- باران اسیدی چیست، منابع آن کدام است، و اثرات آن در کشاورزی و جنگل چیست؟

۷- نیتروژن از نیوار تثبیت شده و به‌وسیله‌ی رس‌های ورمی‌کولیت و هموس نیز تثبیت می‌شود. بین دو فرایند تفاوت قائل شده و نقش میکروب‌ها را در هر دو معلوم کنید.

۸- کودهای شیمیایی و کود دامی معمولاً به خاک‌های کشاورزی اضافه می‌شوند. این خاک‌ها اغلب دارای نیتروژن و عناصر غذایی کمتری نسبت به خاک‌های جنگلی می‌باشند. علت را توضیح دهید.

۹- کمبود گوگرد امروزه در اراضی زراعی بیشتر از ۱۵ سال قبل است. علت چیست؟

۱۰- جنگل‌های حفاظتی حاشیه رودخانه (ریپارین) چگونه آلودگی نیترات را در رودخانه‌ها و رودها کاهش می‌دهند؟

۱۱- خاک‌های اسید سولفات چیست؟ چگونه تشکیل می‌گردند و چگونه به بهترین وجه مدیریت می‌شوند؟

۱۲- در بعضی مناطق حاره‌ای نظام جنگل-زراعی که شامل زراعت مخلوط درختان و گیاهان خوراکی است، مورد استفاده می‌باشد. چه مزایایی در مدیریت نیتروژن این نظام در مقایسه با تک‌کشتی که شامل درختان نیست، وجود دارد؟

بیشتر آن‌چیزی که در خاک است همان‌جا می‌ماند
حتی وقتی که گیاهان از نبود آن در زحمت شوند
تعریفی درخور فسفر و پتاسیم

فصل چهاردهم

فسفر و پتاسیم خاک

فسفر یک عنصر بحرانی در بوم‌سامان‌های کشاورزی و طبیعی در سرتاسر جهان می‌باشد. این عنصر پرمصرف یک جزء کلیدی از ترکیبات یاخته‌ای بوده و برای هر دو حیات جانوری و گیاهی ضروری است. در دنیای کشاورزی، اهمیت مدیریت فسفر برای تولید گیاهان سالم و عملکرد پرسود بعد از مدیریت نیتروژن در ردیف دوم قرار می‌گیرد. عرضه طبیعی فسفر در اکثر خاک‌ها پایین و قابلیت استفاده آن‌چه موجود است نیز بسیار اندک است. میزان فسفر ورودی از نیوار و بارندگی قابل‌اغماض است. خوشبختانه، اکثر بوم‌سامان‌های طبیعی به نحو مقداری کم از این عنصر را از دست می‌دهند چون فسفر نه تشکیل گاز می‌دهد که به نیوار بگریزد و نه به آسانی از خاک براثر زهاب مورد آبشویی قرار می‌گیرد. به‌علاوه بوم‌سامان‌های طبیعی دست‌نخورده چنان تحول یافته‌اند که سبب ارتقاء فرایندهای مشخص زیستی و شیمیایی گردیده و به گیاهان امکان می‌دهد از عرضه‌ی اندک این عنصر در دسترس به‌طور نسبتاً کارآیی استفاده کنند.

فسفر در ارتباط نزدیک با فعالیت احشام (و انسان) می‌باشد. استخوان‌ها و دندان‌ها دارای مقادیر زیادی از این عنصر می‌باشند. باستان‌شناسان میزان فسفر افق‌های خاک را از آن نظر مورد مطالعه قرار می‌دهند که می‌دانند تجمع زیاد غیرمعمول این عنصر در محل‌هایی انجام می‌گیرد که محل اجتماع و زیستگاه‌های انسانی بوده و در آن‌جا استخوان‌های حیوانات اهلی و وحشی مورد استفاده را دور ریخته است. مقدار فسفر در اکثر خاک‌ها چنان اندک است که غلظت بالای آن بیانگر فعالیت انسانی در آن منطقه بوده است.

فسفر در دو مسأله جدی و گسترده و زیست‌محیطی مسوول می‌باشد. در کشورهای صنعتی کاربرد بی‌رویه و نامحدود فسفر در خاک‌ها درطول دهه‌ها سبب افزایش قابل‌توجه سطح این عنصر در لایه‌های سطحی بسیاری از خاک‌ها شده است. مصرف ضایعات انسانی، حیوانی و صنایع در خاک‌ها سبب افزایش فسفر شده است. هنگامی عملیات مدیریتی به‌اندازه‌ی کافی دقیق نیست، هدررفت فسفر از حوزه‌های آبخیز و یا تجهیزات اصلاح فاضلاب در رواناب و نهشته‌های فرسایش‌یافته سبب به‌هم‌زدن تعادل عناصر غذایی در رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و شارگاه‌ها شده است. نهاده‌های افزوده‌شده فسفر عمدتاً باعث بروز فرایند غنی‌شدن انسانی[1] شده است که تأمین آب مشروب را از این منابع در مخاطره قرار داده و استفاده از این سامانه‌های آبی را برای شیلات، تفریحات، صنعت و جلوه‌های طبیعی شدیداً محدود کرده است. کنترل فسفر بنابراین در اکثر برنامه‌های کیفیت آب در سطح ملی و منطقه‌ای دارای اولویت بالایی می‌باشد.

در حد نهایی دیگر نبود فسفر قابل‌استفاده به‌مقدار کافی برای ایجاد پوشش و تولید محصولات گیاهی، سبب تخریب اراضی و آلودگی منابع آب در مناطق وسیع به‌خصوص در کشورهای کمتر توسعه‌یافته مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری شده است. کمبود فسفر در این مناطق اغلب رشد گیاهان را در اراضی زراعی محدود و حتی ممکن است سبب ازبین‌رفتن کامل محصول گردد و زارعین را مجبور سازد که زمین بیشتری از پوشش طبیعی پاک کرده و برای زنده‌مانی به زیرکشت آورند. بدون وجود فسفر کافی تجدید پوشش طبیعی در جنگل‌های به‌هم‌خورده و مناطق ساوانا برای جلوگیری از فرسایش و تخلیه مواد آلی بسیار بطئی می‌باشد. تا مادامی‌که منابع قابل‌استفاده فسفر اضافه نشود رشد پوشش گیاهی ضعیف بوده و این ممکن است سبب ایجاد توان تولید پایین و تخریب اراضی و آلودگی بعدی آب شود. درحالی‌که پتاسیم خاک نقش مستقیمی در کیفیت زیست‌محیطی همچون فسفر ایفا نمی‌کند کمبود پتاسیم خاک نیز معمولاً سبب محدودیت رشد نبات و کیفیت آن خواهد شد. پتاسیم همراه با نیتروژن و فسفر سبب تضمین نباتات سالم خواهد شد، گرچه در اکثر خاک‌ها که موجودی کل پتاسیم بالا می‌باشد اما بیشترین قسمت موجودی به‌صورت کانی‌های غیرمحلول و غیرقابل استفاده برای نبات می‌باشد. همچنین گیاهان چنان به مقادیر زیاد پتاسیم نیازمند می‌باشند که عملیات مدیریت دقیق برای قابل‌استفاده‌نمودن هرچه سریع‌تر این عنصر برای رشد بهینه لازم می‌باشد.

فسفر و پتاسیم هردو به‌مقدار زیاد به‌صورت کود شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرند، بنابراین همراه با نیتروژن عنوان (کودهای عنصری) را به‌خود اختصاص داده‌اند. اگر از اکثر زراعین پرسیده شود چه عناصر غذایی را در کودی که مصرف می‌کنید مورد استفاده قرار می‌دهید جواب آن‌ها با احتمال زیاد این خواهد بود که NPK (ازت، فسفر و پتاس) علاوه بر نقش فسفر در حاصلخیزی اثرات مهم زیست‌محیطی فسفر

---

[1] - Cultural Eutrophication : کلمه eutrophication در ریشه eutrophos یونانی به‌معنی خوب تغذیه شده و یا درحال تغذیه آمده است. تراکم طبیعی عناصر غذایی در طول قرن‌ها سبب پرشدن دریاچه‌ها از گیاهان و ازدست‌رفتن اکسیژن محلول مورد نیاز ماهی‌ها می‌باشد، که فرایند غنی‌شدن طبیعی نامیده می‌شود. ورودی بیش از حد عنصر غذایی براثر فعالیت انسان به‌طور سرسام‌آوری این فرایند را سرعت بخشیده و به آن Cultural eutrophication گویند.

را نیز در نظر داشته باشید. واضح است که فهم درست فرایند خاک که چگونه چرخش این دو عنصر پرمصرف تحت سیطره آن است برای هرکس که با خاک‌ها سروکار دارد اساسی می‌باشد.

۱۴-۱ نقش فسفر در تغذیه گیاهی و حاصلخیزی خاک

بدون فسفر گیاه و حیوان قادر به رشد و نمو نمی‌باشند. فسفر جزء اساسی ماده‌ی آلی که اغلب به آن انرژی رایج[1] یاخته زنده اطلاق می‌شود: آدونوزین تری‌فسفات[2] (ATP)است که درطی تنفس و سوخت‌وساز نوری بازسازی می‌شود. ATP دارای گروه‌های پرانرژی فسفاته می‌باشد که سبب راه‌اندازی فرایندهای زیستی با شدیدترین نیازهای انرژی می‌گردد. جذب عناصر غذایی و انتقال آن‌ها در داخل نبات و هم‌سازی آن‌ها در مولکول‌های مختلف فرایندهای گیاهی، مصرف‌کننده انرژی می‌باشند که نیازمند ATP است.

فسفر جزء اساسی دزوکسی‌ریبونوکلوییک‌اسید DNA[3]، جایگاه توارث و ریبونوکلوییک‌اسید RNA[4] است که بازسازی پروتیین را در گیاهان هدایت می‌کند. فسفولیپیدها[5] که نقش اساسی در غشاء یاخته‌ای ایفا می‌کنند، گروه دیگری از ترکیبات مهم آلی حاوی فسفر می‌باشند. برای اکثر گونه‌های نباتی، میزان کل فسفر برگ‌های سالم معمولاً ۰/۲ تا ۰/۴ درصد وزن خشک می‌باشد.

فسفر و رشد گیاه

جنبه‌های ارتقای رشد گیاه: تغذیه‌ی کافی فسفر به‌وسیله‌ی گیاه سبب ارتقاء بسیاری از جنبه‌های فیزیولوژی گیاهی از جمله فرایندهای سوخت‌وساز نوری، تثبیت نیتروژن، گلدهی، میوه‌دهی (از جمله بذردهی) و رسیدن محصول می‌شود. رشد ریشه، به‌خصوص توسعه‌ی ریشه‌های جانبی و ریشک‌های افشان به‌وسیله‌ی فسفر تقویت می‌شود. در غلات تغذیه‌ی خوب فسفر سبب استحکام بافت‌های ساختمانی موجود در کلش و ساقه می‌گردد(جدول ۱-۱۴)، بنابراین از ورس[6] (خوابیدن نبات) ممانعت خواهد کرد، بهبود کیفیت محصول به‌خصوص در گیاهان علوفه‌ای و سبزی‌ها مزیت دیگر این عنصر می‌باشد.

جدول ۱-۱۴ تأثیر تغذیه فسفر در پوسیدن ساقه‌ی ذرت

رقم اصلاح شده ذرت	فسفر موجود دربرگ (میلی‌گرم در کیلوگرم برگ خشک)	درصد نباتات (سر پا)	مقاومت برشی ساقه، (kg/cm^2)
رقم دارای تجمع فسفر	۰/۷۵	۹۲	۲۸۸
رقم دارای فسفرکم	۰/۲۴	۷۰	۱۰۵

علایم کمبود فسفر در نبات: تشخیص کمبود فسفر در گیاهان معمولاً به‌آسانی تشخیص کمبود سایر عناصر غذایی نیست. گیاهان دارای کمبود معمولاً کوتاه‌قد، نازک‌ساقه و نخ‌مانند، اما با برگ‌های تیره معمولاً سبز متمایل به آبی می‌باشند، بنابراین در نبود بوته‌های سالم بسیاربزرگ‌تر برای مقایسه، بوته‌های دارای کمبود فسفر به ظاهر بسیار عادی به‌نظر می‌رسند. در موارد شدید کمبود، فسفر می‌تواند سبب زودپیرشدن برگ‌ها و ایجاد رنگ ارغوانی در ساقه و برگ نبات می‌شود (نباید با اثرات دمای پایین اشتباه گرفت). فسفر در بافت‌های زاینده که در آن یاخته‌ها به‌سرعت در حال رشدونمو هستند به‌مقدار زیادی مورد نیاز است. فسفر در داخل نبات بسیار متحرک بوده و لذا کمبود در برگ‌های مسن مشاهده می‌شود. زیرا فسفر برگ‌های مسن به‌حرکت درآمده و به برگ‌های جدید درحال رشد انتقال می‌یابد. رنگ ارغوانی و پیرشدن زودهنگام همراه با کمبود در برگ‌های پیر بسیار فراوان است. نباتات دارای کمبود فسفر با بلوغ دیررس، گلدهی پراکنده و نامرغوب‌بودن بذر مشخص می‌شوند.

مسأله فسفر در حاصلخیز خاک

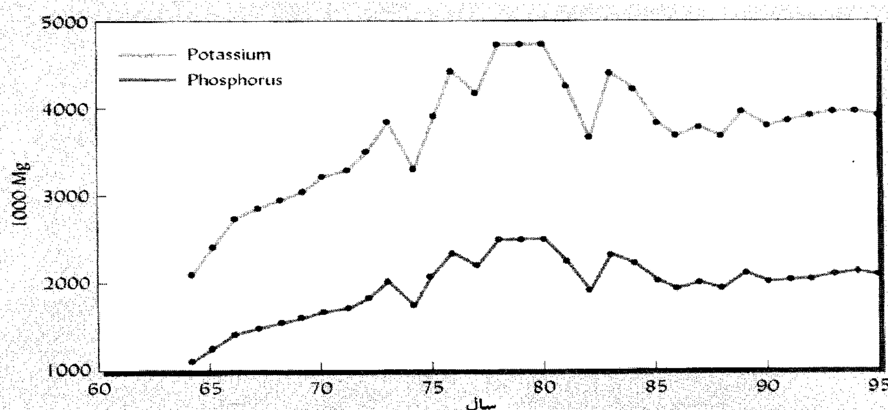
نقش فسفر در حاصلخیزی خاک از سه جنبه قابل‌بررسی است. اول، این‌که فسفر کل خاک پایین بوده و معمولاً از ۱۰/۱ تا ۴/۱ مقدار نیتروژن و ۲۰/۱ مقدار پتاسیم بیشتر نیست، میزان فسفر خاک‌ها از ۲۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلوگرم دریک هکتار در عمق شخم متغییر و به‌طور متوسط

---
[1] -Energy Currency
[2] -Adonosinetriphosphate
[3] -Deoxyribonucleic Acid
[4] -Ribonucleic Acid
[5] -Phospholipids
[6] -lodging

۱۰۰۰ کیلوگرم می‌باشد. دوم، ترکیبات فسفره موجود در خاک معمولاً غیرقابل استفاده گیاهان است، زیرا اغلب بسیار نامحلول می‌باشند. سوم، وقتی منابع محلول فسفر مانند فسفر موجود در کودهای شیمیایی و یا کود دامی به‌خاک‌ها اضافه شوند، آن‌ها تثبیت شده (به اشکال غیرقابل‌استفاده تغییر می‌یابند) و در طول زمان تشکیل ترکیبات بسیار نامحلول می‌دهند. ما این واکنش‌های تثبیت[1] را در جزییات مورد بررسی قرار خواهیم داد (فصل ۸-۱۴)، زیرا نقش مهمی در تعیین مقدار و روش مصرف فسفر در خاک‌ها دارند.

از آن‌جاکه در واکنش‌های تثبیت فقط بخش کوچکی از فسفر کود(۱۵-۱۰درصد) به‌وسیله‌ی نبات در سال توزیع آن جذب گیاه می‌گردد، در کشورهای صنعتی که زارعین توان مالی مصرف کود فسفره را دارند ۲ تا ۴ برابر فسفر زیادتری از آن‌چه که ممکن‌است به‌وسیله‌ی نبات برداشت شود هر سال مصرف می‌کنند، با تکرار این عمل در طول سالیان متمادی ظرفیت تثبیت فسفر خاک اشباع گردیده و میزان فسفر قابل‌استفاده نبات در بسیاری از خاک‌های کشاورزی ظرفیت‌سازی می‌شود به‌طوری‌که بیش از آن‌چه فسفر به‌وسیله‌ی محصول برداشت می‌شود، نیاز به مصرف کود ندارد. در واقع بسیاری از خاک‌های کشاورزی در کشورهای صنعتی به‌خصوص با سابقه طولانی براثر مصرف کود دامی و یا کود شیمیایی چنان فسفر قابل‌استفاده در آن‌ها تجمع یافته که نیاز به فسفر اندک بوده و یا هیچگونه فسفر اضافی تا مادامی‌که فسفر تا حد متوسط در طول سالیان دراز نزول پیدا نکند مصرف نمی‌شود. آمار مصرف کود شیمیایی در ایالات متحده امریکا بازتاب این واقعیت است که زارعین اخیراً به این نتیجه رسیده‌اند که مصرف کود شیمیایی درجایی‌که میزان فسفر ظرفیت‌سازی شده‌است می‌تواند کاهش یابد(شکل ۱-۱۴). ظرفیت‌سازی فسفر در طولانی مدت سبب بهبود حاصلخیزی خاک شده اما منجر به پیامدهای نامطلوب زیست‌محیطی خاص شده است که در زیر مورد بحث قرار می‌گیرد.

در بسیاری از کشورهای درحال توسعه، به‌ویژه در آفریقا، چنین مصرف بسیار زیاد فسفر قاعده نیست. در کشورهای آفریقایی نیمه‌صحرایی که تولید سرانه‌ی غذا در سال‌های اخیر کاهش یافته است، افزودن این عنصر غذایی برای محصولات غذایی فقط کسری از فسفر خارج‌شده در محصول برداشت شده است. درطول سال‌ها فسفر خاک تخلیه شده است، به‌طوری که در بسیاری از مناطق نبود این عنصر اولین عامل محدودکننده‌ی تولید محصولات غذایی است. این فسفر همچنین به‌طور غیرمستقیم در تأمین نیتروژن ایجاد مانع می‌نماید، زیرا رشد گیاهان نیام‌دار تثبیت‌کننده نیتروژن در شرایط فسفر کم محدود می‌گردد. کاهش سرانه‌ی تولید غذا در آفریقای نیمه‌صحرایی تا حل‌شدن مسایل بحرانی کمبود فسفر به‌نظر نمی‌رسد، وارونه گردد.



شکل ۱-۱۴ برآورد میزان کود فسفر و پتاسه مصرف‌شده سالانه در اراضی زراعی آمریکا از سال ۱۹۶۴. توجه داشته باشید که مصرف سالانه‌ی فسفر به‌طور پایدار تا حدود سال ۱۹۸۰ افزایش و سپس کاهش‌یافته تا در ۲ میلیون تن متریک در سال یکسان گردیده است. کاهش و یکسان گردیدن میزان مصرف فسفر بازتاب نیاز کمتر به ظرفیت‌سازی فسفر در خاک‌های زراعی می‌باشد که در آن‌ها ظرفیت تثبیت فسفر به‌مقدار زیادی اشباع شده است. روند کاهش میزان مصرف فسفر از سال ۱۹۸۰ دقیقاً ناشی از تأثیرات اقتصادی زراعی می‌باشد، نه زیست‌محیطی، زیرا روند مصرف پتاسیم، یک عنصر غذایی غیرآلاینده نیز تقریباً مشابه فسفر است. نمونه‌ای از تأثیرات اقتصادی تحریم نفتی ۷۴-۱۹۷۳ است که سبب افزایش سرسام‌آور کودهای شیمیایی و کاهش قابل‌توجه مصرف در سال ۱۹۷۴ گردید. کاهش شدید در سال ۱۹۸۳ بیانگر سیاست پرداخت یارانه به‌وسیله‌ی وزارت کشاورزی آمریکا برای ترغیب زراعین در کاهش سطح زیرکشت ذرت می‌باشد. در سایر قسمت‌های جهان تولید پایدار محصولات احتمالاً نیازمند مصرف فسفر و پتاسیم طی سال‌های طولانی آتی می‌باشد.

---

[1]- توجه کنید که واژه‌گان (تثبیت) که درمورد فسفر به‌کار رفته دارای همان معنی کلی تثبیت شیمیایی یون‌های پتاسیم یا آمونیوم می‌باشد، به‌این معنی ماده‌ی شیمیایی که تثبیت می‌شود، در پیوند قرار گرفته و در دام گیر کرده و یا چنان به‌وسیله‌ی بخش جامد خاک محکم نگهداری شده‌اند که برای گیاهان تقریباً غیرقابل‌استفاده است. در مقابل تثبیت نیتروژن گازی در ارتباط با تبدیل زیستی گاز N_2 به اشکال مرکبی است که گیاهان می‌توانند مورداستفاده قرار دهند.

۲-۱۴ اثرات فسفر بر کیفیت محیط زیست

برخلاف ترکیبات خاص نیتروژنی، که در طول چرخه نیتروژن (برای نمونه آمونیاک، نیترات و نیتروزآمین، فصل ۱۳ را مشاهده کنید) به‌دست می‌آید. فسفر اضافه شده به سامانه‌های آبی از طریق خاک برای ماهی، احشام و انسان سمی نیست. هرچند فسفر خیلی زیاد و فسفر خیلی کم می‌توانند اثرات شدید و گسترده منفی بر کیفیت زیست محیط داشته باشند. مسایل زیست‌محیطی عمده در ارتباط با فسفر خاک عبارتست از (۱) تخریب اراضی[1] در اثر کمبود فسفر قابل‌استفاده و (۲) غنی‌شدن تسریعی[2] براثر فسفر زیادی. هر دو مسأله در ارتباط با نقش فسفر به‌عنوان یک عنصر غذایی می‌باشد.

تخریب اراضی

بسیاری از خاک‌های شدیداً هوادیده در مناطق گرم مرطوب و نیمه‌مرطوب جهان دارای ظرفیت اندکی در تأمین فسفر برای رشد نبات می‌باشند، که بخشی مربوط به قابلیت استفاده اندک فسفر براثر هدررفت گسترده‌ی فسفر طی ایام طولانی هوادیدگی نسبتاً شدید و بخشی دیگر به‌خاطر قابلیت استفاده پایین فسفر در ترکیبات آهن و آلومینیوم می‌باشد که شکل‌های غالب فسفر در این خاک‌ها را تشکیل می‌دهد.

بوم‌سامان‌های طبیعی دست‌نخورده در این مناطق دارای فسفر کافی در زیتوده و ماده‌ی آلی برای تولید درخت و یا علف به مقدار لازم می‌باشند. قسمت اعظم فسفر جذب‌شده گیاهان در این بوم‌سامان‌ها از تجزیه‌ی پس‌ماندهای گیاهی دیگر گیاهان می‌باشد. مقدار بسیار کمی فسفر تا مادامی‌که نظام دست‌نخورده باقی باشد از دست می‌رود.

زمانی‌که زدودن جنگل برای انجام کشت‌وکار صورت می‌گیرد (با جنگل‌تراشی ویا با آتش‌زدن) میزان هدررفت فسفر، همراه با ذرات خاک فرسایش‌یافته در رواناب ویا برداشت به‌وسیله‌ی زیتوده (برداشت محصول) می‌تواند قابل‌توجه باشد. فقط درطول چند سال، سامانه ممکن است بخش اعظم فسفری را که بین خاک‌ها و گیاهان در چرخش بوده است از دست بدهد. فسفر باقیمانده معدنی در خاک برای جذب نبات به‌مقدار بسیار زیادی غیرقابل‌استفاده می‌باشد، در این حالت ظرفیت تأمین فسفر خاک دست‌خورده چنان به‌سرعت کاهش می‌یابد که رشد مجدد پوشش طبیعی به‌صورت پراکنده بوده و در اراضی تبدیل شده برای استفاده کشت‌وکار گیاهان از تولید عملکرد سودمند باز می‌مانند(شکل ۲-۱۴).

گیاهان نیام‌دار، که انتظار بر این است ذخایر نیتروژن خاک را تجدید کنند، با کمبود فسفر صدمات سختی خواهند خورد، زیرا موجودی اندک فسفر، گره‌بندی مؤثر را محدود کرده و فرایند تثبیت زیستی نیتروژن را به تأخیر خواهد انداخت. گیاهان ضعیف دارای کمبود نیتروژن و فسفر پوشش ضعیفی را برای ممانعت از شستشوی خاک سطحی در باران‌های سنگین ایجاد خواهند کرد. فرسایش حاصل سبب کاهش بیشتر حاصلخیزی و ظرفیت نگهداری آب خواهد شد. این خاک‌ها با فقر مداوم عناصر غذایی تنها می‌توانند پوشش اندکی تأمین کرده، بنابراین، سبب تسریع تخریب خواهند گردید. در ضمن ذرات خاک فرسایش یافته در بخش‌های پایین حوزه‌ی آبخیز به‌صورت رسوب سبب پرشدن مخازن شده و گل‌آلودگی رودخانه‌ها را بالا می‌برد.

احتمالاً حدود ۲ میلیارد هکتار اراضی در جهان وجود دارند که کمبود فسفر سبب محدودیت رشد نباتات زراعی و پوشش بومی در آن‌ها می‌شود. بیشتر این اراضی در کشورهای فقیر، که زارعین سرمایه اندکی برای خرید کود دارند، قرار گرفته‌اند. بدون اعمال مدیریت مناسب در میزان فسفر مصرفی، امید اندکی برای حفظ توان تولید و کامیابی ساکنان این اراضی وجود دارد. متوقف و یا برعکس‌نمودن این نوع تخریب اراضی نیازمند مدیریت چرخه‌ی فسفر برای استفاده مؤثر از منابع اندک فسفر می‌باشد.

تخریب کیفیت آب

غنی‌شدن تسریعی و یا انسانی(تابلو ۱-۱۴) به‌دلیل واردشدن فسفر به‌داخل رودخانه از منابع نقطه‌ای[3] و یا غیرنقطه‌ای[4] صورت می‌گیرد. تشخیص، تنظیم و پاک‌سازی منابع نقطه‌ای مانند جریان‌های خروجی از ایستگاه‌های تصفیه فاضلاب، صنایع و سایر منابع مشابه نسبتاً آسان است. در طول چند دهه گذشته بسیاری از کشورهای صنعتی در کاهش بار فسفر حاصل از منابع آلودگی نقطه‌ای پیشرفت زیادی کرده‌اند. برعکس تشخیص و مهار منابع غیرنقطه‌ای مشکل می‌باشد. منابع غیرنقطه‌ای فسفر عمدتاً رواناب و نهشته‌های فرسایش‌یافته از خاک‌های صدمه‌دیده در حوزه‌های تحت تأثیر می‌باشند. هر دو این منابع درحال حاضر علت اصلی غنی‌شدن در بسیاری از مناطق هستند.

---

[1] -Land degradation
[2] -Accelerated eutriphication
[3] -Point Source
[4] -Non Point Source

هدررفت فسفر از یک حوزه‌ی آبخیز می‌تواند به‌وسیله‌ی فعالیت‌های مختلف انسانی ازجمله برداشت الوار، چرای شدید، عملیات خاک‌ورزی، و مصرف کود دامی و کودهای شیمیایی حاوی فسفر افزایش یابد (جدول ۲-۱۴). در مناطقی که خاک‌های آن‌ها طی سالیان دراز از فسفر اشباع شده است میزان فسفر بیشتری را در اثر فرسایش در رواناب و نهشته به رودخانه‌ها تحویل خواهد داد.

دلایل چندی برای افزایش میزان فسفر در سطح خاک تا این مقدار وجود دارد. اول، زارعین از مدت‌ها قبل دریافته‌اند که وقتی کود شیمیایی فسفر محلول در خاک‌های دارای فسفر کم مصرف شود، بیشتر فسفر در اشکالی تثبیت می‌شوند که گیاهان نمی‌توانند از آن استفاده کنند (بخش ۶-۱۴). برای جبران این عدم کارایی، کشاورزان در کشورهای صنعتی به‌طور سنتی مقدار فسفر بیشتری از آن‌چه در محصول برداشت می‌شود به خاک خود اضافه می‌کنند. دوم، در مواردی که کود دامی و لجن فاضلاب به‌کار برده می‌شود، مقدار موردنیاز کود اغلب برحسب نیاز نیتروژن در محصول زراعی محاسبه می‌شود، مشخص شده است که مقدار فسفر موجود در کود دامی احتمالاً ۲ تا ۴ برابر فسفر جذب شده به‌وسیله‌ی گیاه می‌باشد بنابراین، میزان فسفر زیادی در خاک‌های زراعی تحت مدیریت متمرکز در طول سال‌ها افزایش یافته، و درنتیجه میزان فسفر در رواناب و نهشته‌ی حاصل از این خاک‌ها افزایش می‌یابد.

(الف)


(ب)


(ج)


شکل ۲-۱۴ در بسیاری از خاک‌ها با هوادیدگی شدید در مناطق گرمسیر و نیمه‌گرمسیر، ممکن است قابلیت استفاده اندک فسفر، و همین‌طور سایر عناصر غذایی، سبب محدودیت رشد مجدد پوشش طبیعی و یا تولید محصولات زراعی به‌دنبال ازبین‌بردن پوشش بومی گردد. (الف)تجدید رشد و پوشش طبیعی در کرت جداشده کودنخورده در مناطق تخریب‌شده‌ی جنگل‌های بارانی کارابیب در پرتریکو بسیار پراکنده می‌باشد. (ب و ج)فسفر در مزرعه‌ی ذرت این زن آفریقایی چنان تخلیه شده است که محصول اندک بوده و یا اصلاً محصولی از نبات دچار کمبود شدید فسفر برداشت نخواهد شد. در هر دو حال (پوشش بومی و زراعت) رشد ضعیف نبات سبب ایجاد حساسیت خاک به فرسایش و سایر فرایندهای تخریبی خواهد شد.

مطالعات در بسیاری از مناطق نشان داده‌اند که خاک‌هایی که به تولید نباتات زراعی اختصاص یافته‌اند، به‌مراتب فسفر بیشتری به رودخانه‌ها، درمقایسه با جنگل‌های دست‌نخورده و یا چمن‌زارها، ازدست خواهند داد. رودخانه‌هایی که حوزه‌های آبخیز را که عمدتاً تحت کاربری کشاورزی هستند، زه‌کشی می‌کنند، دارای بار بیشتری از فسفر می‌باشند. علت آن همان‌طورکه تشریح گردید، تجمع فسفر در خاک‌های سطحی و عملیات زراعی است که میزان فسفر را در رواناب و فرسایش افزایش می‌دهد(شکل ۴-۱۴).

تابلو ۱-۱۴ غنی شدن

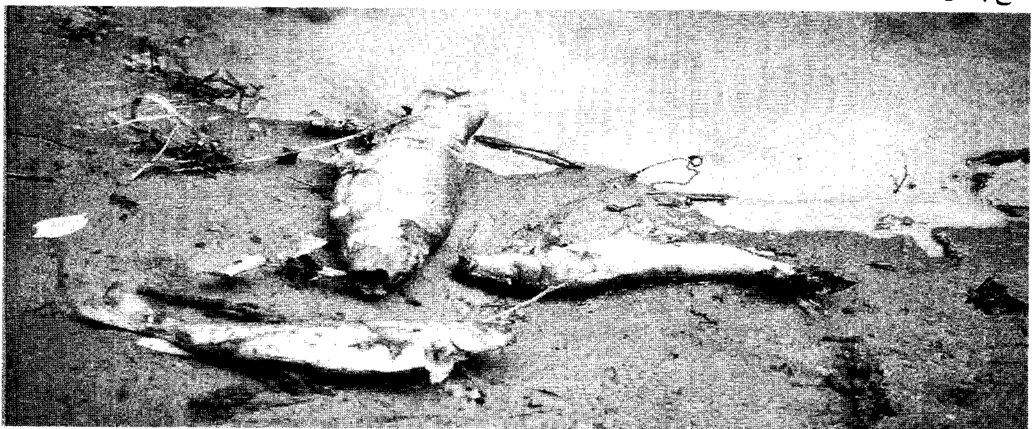
رشد زیاد مواد گیاهی در نظام‌های زمینی یک مزیت به‌شمار می‌آید، اما در سامانه‌های آبی این رشد می‌تواند سبب ایجاد مسائل فراوان در کیفیت آب گردد. رشد ناخواسته‌ی جلبک‌ها (گیاهان شناور تک‌یاخته‌ای) و گیاهان آب‌زی غنی‌شدن نامیده می‌شود، که می‌تواند استخرها و دریاچه‌ها را به محیط نامناسبی برای ماهی تبدیل کرده و آب را برای آشامیدن نامطلوب کنند.

در بوم‌سامان‌های طبیعی، دریاچه‌ها معمولاً روشن و عاری از رشد زیاد گیاهان بوده و دارای جوامع متعددی از جانداران می‌باشد. این به‌خاطر آن است که چند عامل (مانند میزان فسفر و نیتروژن اندک) سبب محدودیت رشد جلبک‌ها و سایر گیاهان می‌شود. آب‌های حاوی مواد لب‌شور(قلیایی) و شور عمدتاً از نظر نیتروژن فقیر بوده و رشد گیاهان براثر آلاینده‌های حاوی نیتروژن تحریک می‌شود.

از طرف دیگر اکثر آب‌های شیرین دریاچه‌ها و رودخانه‌ها معمولاً دارای فسفر اندک می‌باشند، بخشی از علت این است که میزان فسفر در آب به‌طور شاخص پایین بوده و بخش دیگری از علت آن است که تثبیت نیتروژن به‌وسیله‌ی سیانوباکتری‌ها (جلبک‌های سبز- آبی) انجام می‌شود. سطح بحرانی فسفر، که بیشتر از آن ماشه غنی‌شدن کشیده می‌شود، حدود ۰/۰۳ میلی‌گرم فسفر محلول و ۰/۱ میلی‌گرم‌درلیتر فسفر کل است.

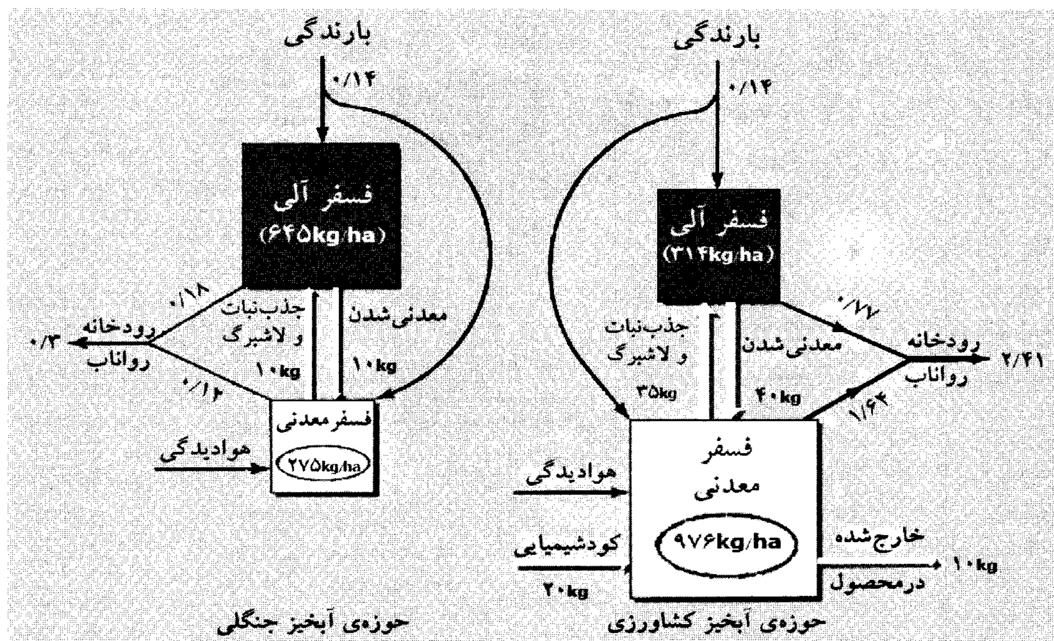
وقتی فسفر به یک دریاچه با فسفر اندک اضافه می‌شود، سبب تحریک طغیان رشد جلبک‌ها می‌گردد (به آن شکوفایی جلبک[1] اطلاق می‌شود) و اغلب سبب تغییر گونه‌های غالب جلبک می‌گردد. ممکن است جلبک‌های تحریک‌شده به‌وسیله‌ی فسفر سطح آب را با پرده‌ای از کف جلبکی پوشش دهند. ممکن است دریاچه به‌وسیله‌ی گیاهان عالی که رشد آن‌ها نیز به‌وسیله‌ی فسفر اضافه شده تحت تأثیر قرار گرفته، دچار انسداد گردد. وقتی این گیاهان آب‌زی و پوشش جلبک می‌میرند، آن‌ها در کف استخر غوطه‌ور گردیده و تجزیه آن‌ها به‌وسیله‌ی ریزجانداران تمام اکسیژن محلول در آب را مصرف می‌کنند. این دریاچه‌های غنی‌شده اغلب دچار کدورت گشته و رشد پوشش آب‌زی متفرق و جانداران کف‌زی[2] که به‌عنوان غذای اکثر جوامع ماهی عمل می‌کنند، محدود می‌شوند. درموارد حاد غنی‌شدن سبب کشتار سنگین ماهی می‌گردد (شکل۳-۱۴).

غنی‌شدن سبب تغییرشکل آب روشن غنی از اکسیژن خوش‌طعم به آب تیره‌ی فقیر از اکسیژن بدطعم و بدبو و احتمالاً سمی خواهد شد. شرایط غنی‌شده مناسب برای رشد سیانوباکتر، جلبک‌های سبز- آبی بوده که عمدتاً غذای نامطلوبی برای پلانکتون‌های[3] جانوری می‌باشند، آن‌ها نیز منبع اصلی غذای ماهی‌ها هستند. سیانوباکتری‌ها، سم‌ها و ترکیبات بدطعم و بدبو ایجاد می‌کنند که آب را برای مصرف انسان‌ها و حیوانات نامناسب می‌سازند. بعضی از جلبک‌های رشته‌ای می‌توانند صافی‌های ورودی تصفیه آب را مسدود کرده و سبب افزایش هزینه تصفیه گردند، ممکن‌است رشته متراکم جلبک و گیاهان آب‌زی آب را برای قایق‌رانی و شنا نامناسب سازد. به‌علاوه آب‌های غنی‌شده معمولاً دارای سطح پایینی از فعالیت‌های زیستی است (دارای تعداد معدودی گونه و تعداد ماهی اندکی از گونه‌های مطلوب می‌باشند).



شکل ۳-۱۴ درموارد حاد غنی‌شدن، ممکن‌است کشتار جمعی ماهی در دریاچه‌ها و رودخانه‌های حساس صورت گیرد. این کشتار نتیجه‌ی شرایط غیرهوازی است که در اثر تجزیه توده‌های زیاد جلبک حاصل از نهاده‌های زیاد فسفر (بعضی مواقع نیتروژن) به وجود می‌آید.

[1] - Algal bloom
[2] - Benthic organism
[3] - Zooplankton



شکل ۴- ۱۴ تعادل فسفر در خاک‌های سطحی التی‌سول درحوزه‌های آبخیز جنگلی و زراعی مجاور همدیگر. جنگل عمدتاً از درختان چوب‌سخت بالغ که تقریباً به‌مدت ۴۵ سال و بیشتر بدون به‌هم‌زدن باقی مانده بودند. اراضی کشاورزی تحت کشت گیاهان ردیفی به‌مدت بیش از یکصدسال قرار داشتند. به‌نظر می‌رسد که در اراضی کشاورزی حدود نصف فسفر آلی از بدو شروع کشت‌وکار به فسفر معدنی تبدیل شده ویا از نظام هدررفت داشته است. درعین‌حال مقادیر قابل‌توجهی از فسفر معدنی براثر مصرف کود در خاک تجمع یافته است. درمقایسه با خاک‌های جنگلی معدنی‌شدن فسفر در خاک‌های کشاورزی حدود ۴ برابر و میزان فسفر ازدست‌رفته به رودخانه‌ها ۸ بار بیشتر است. جریان فسفر به‌وسیله‌ی پیکان‌ها برحسب کیلوگرم‌درهکتار درسال ارائه شده است. جالب توجه است که بدانیم تقریباً ۹۵٪ فسفر ازدست‌رفته از اراضی کشاورزی به‌صورت فسفر ذره‌ای است، درصورتی‌که ۳۳ درصد هدررفت اراضی جنگلی به‌صورت محلول و ۶۷ درصد آن به‌صورت ذره‌ای است.

جدول ۲-۱۴ تأثیر تولید گندم و نوع عملیات خاک‌ورزی بر هدررفت سالانه‌ی فسفر در رواناب و نهشته‌های فرسایش‌یافته از خاک‌ها در دشت‌های بزرگ جنوبی کل فسفر ازدست‌رفته شامل فسفر محلول در رواناب و فسفر جذب‌شده‌ی ذرات فرسایش یافته است*. اگرچه چرای گاو در چمن‌زار طبیعی احتمالاً سبب هدررفت فسفر در این حوزه گردید. هدررفت از حوزه‌های زراعی حدود ۱۰ بار بیشتر بود. در مزارع با نظام نبود خاک‌ورزی، فسفر ذره‌ای کمتر، اما درمقایسه فسفر محلول بیشتری درمقایسه با مزارع با نظام خاک‌ورزی مرسوم از دست دادند.

موقعیت و خاک	مدیریت	فسفر کیلوگرم در هکتار هر سال		
		فسفر محلول	فسفر ذره‌ای	فسفر کل
سری الرنو[1] اکلاهما پالئوستل با ۳ درصد شیب	گندم با شخم و دیسک مرسوم	۰/۲۱	۳/۵۱	۳/۷۲
	گندم با نظام نبود خاک‌ورزی	۱/۰۴	۰/۴۳	۱/۴۲
	چمن بومی شدیداً چراشده	۰/۱۴	۰/۱	۰/۲۴
سری ودوارد[2] اکلاهما استاکرپیت با ۸ درصد شیب	گندم با شخم پنجه‌غازی و دیسک مرسوم	۰/۲۳	۵/۴۴	۵/۶۷
	گندم با نظام نبود خاک‌ورزی	۰/۴۹	۰/۷	۱/۱۹
	چمن بومی به‌طور متوسط چراشده	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۰۹

*- در گندم کود فسفره هرسال تا ۲۳ کیلوگرم در هکتار در پاییز مصرف شد.

[1] - El Reno, Paleustolls
[2] - Woodward ustochrepts

هدررفت فسفر در رواناب: مدیریت زراعی که شامل عملیات خاک‌ورزی زیرورو‌کردن خاک است سبب افزایش فسفر همراه با رسوبات فرسایش یافته (فسفر ذره‌ای)[1] گردیده درحالی‌که مدیریت زراعی با نظام نبودِ شخم‌وشیار سبب هدررفت بیشتر فسفر حل‌شده در رواناب (فسفر حل‌شده)[2] می‌شود، این شیوه در جدول ۲-۱۴ با مقایسه هدررفت فسفر در نظام نبودِ خاک‌ورزی و نظام مرسوم کشت گندم می‌تواند مشاهده گردد.

تصمیم به استفاده از عملیات خاک‌ورزی برای مخلوط‌کردن مواد اصلاحی حاوی فسفر شامل مقایسه بین مزایای مخلوط‌کردن فسفر به داخل خاک (فسفر کمتری در رواناب حل شده و فسفر بیشتری برای جذب گیاه باقی می‌ماند) و ضررهای همراه به‌هم‌زدن خاک سطحی (هدررفت بیشتر ذرات خاک به‌وسیله‌ی فرسایش) (جدول ۲-۱۴) می‌باشد. در عملیات خاک‌ورزی بدونِ شخم مصرف سطحی کود دامی بدون مخلوط‌کردن آن ممکن است سبب هدررفت فسفر کل کمتری گردد. زیرا سبب کاهش قابل‌توجه فرسایش و رواناب کل خواهد شد، اثر این کاهش ممکن است از اثر افزایش غلظت فسفر در حجم نسبتاً کم رواناب فراتر باشد. اگر ادوات مناسب فراهم باشد بهترین روش مصرف در کودهای حاوی فسفر تزریق آن‌ها در داخل خاک با حداقل به‌هم‌زدن است.

به‌هم‌زدن پوشش طبیعی، مانند بریدن درختان و یا آتش‌سوزی سبب افزایش هدررفت فسفر عمدتاً در اثر رسوبات فرسایش یافته می‌شود. فرسایش سبب می گردد که عمدتاً بخش رس و مواد آلی خاک را که از نظر فسفر غنی هستند، انتقال یافته، و بخش‌های درشت‌تر با فسفر کمتر را به‌جای بگذارد. بنابراین، رسوبات فرسایش‌یافته درمقایسه با خاک اصلی از نظر غنی‌شدن فسفر دارای نسبت ۲:۱ و بیشتر می‌باشد(جدول۳-۱۴).

رواناب حاصل از پرواربندی‌ها و در مناطقی که صدها و یا حتی هزاران گاو، خوک و یا طیور نگهداری می‌شوند، منابع حاوی فسفر هستند که سبب غنی‌شدن می‌گردند. کود دامی حاصل از ده هزار راس گاو گوشتی دارای همان مقدار نیتروژن و فسفر است که در فضولات انسانی در یک شهر صدهزار نفری یافت می‌شود. درحالی‌که کود دامی زیادی در مزارع نزدیک ممکن است پخش شود، باران‌های شدید سبب هدررفت رواناب و فرسایش در این اراضی شده و مقادیر قابل‌توجهی از فسفر محلول و ذره‌ای را می‌تواند حمل کند. بیشتر این عنصر غذایی راه خود را در دریاچه‌ها و مخازن پیدا نموده و در آنجا سبب غنی‌گشتن می‌شوند. شکل ۵-۱۴ نشان‌دهنده‌ی مقدار زیاد فسفر در افق سطحی یک خاک با بهره‌برداری دامپروری پرنهاده نزدیک دریاچه اوکی‌چوبی[3] در جنوب فلوریدا است. تشخیص حرکت فسفر از این منطقه و رودخانه‌های اطراف که دریاچه را تغذیه می‌کنند به آسانی قابل‌پیش‌بینی است.

جدول ۳-۱۴ اثر آتش‌سوزی جنگل بر هدررفت فسفر در سال بعد. در جنگل خاربوته در شمال غرب اسپانیا (محل دارای شیب تند با خاک لوم شنی کم عمق lithic Haplumbrepts با فسفر قابل‌استفاده نسبتاً بالا. توجه داشته باشید هرچه آتش‌سوزی شدیدتر باشد، میزان هدررفت خاک و فسفر همراه آن بیشتر بوده است. در تمام موارد نسبت غنی‌شدن کمی بیشتر از ۲ بوده و بیانگر آن است که نهشته‌های فرسایش‌یافته از کرت‌ها بیشتر از ۲ برابر فسفر موجود در خود خاک‌های سطحی اولیه غلظت داشته است. دراین‌جا، همانند سایر موارد بخش‌های خاک غنی از فسفر حساس‌ترین به فرسایش می‌باشند. میزان هدررفت فسفر دراین جنگل خاص بیشتر از هدررفت شاخص در جنگل‌های منطقه مرطوب در خاک‌ها با فسفر پایین می‌باشد.

تیمار	نهشته‌های فرسایش یافته (مگاگرم در هکتار)	کل فسفر از دست رفته (کیلوگرم در هکتار)	نسبت غنی‌شدن (ب)
جنگل سوزانده‌نشده، شاهد	۲	۱/۴	۲/۶
جنگل سوزانده‌شده متوسط با آتش‌سوزی عمدی	۵	۴/۳	۲/۱
جنگل شدیداً سوخته‌شده با آتش‌سوزی سرکش (طبیعی)	۱۳ (الف)	۹/۱	۲/۲

(الف) مقادیر در جنگل شدید سوخته شده برای ۱۰ ماه اندازه‌گیری شد درحالی‌که سایر کرت‌ها برای ۱۲ ماه

(ب) نسبت غنی‌شدن عبارتست از مقدار فسفر موجود در نهشته (برحسب میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک) تقسیم بر مقدار فسفر موجود در خاک mg/kg

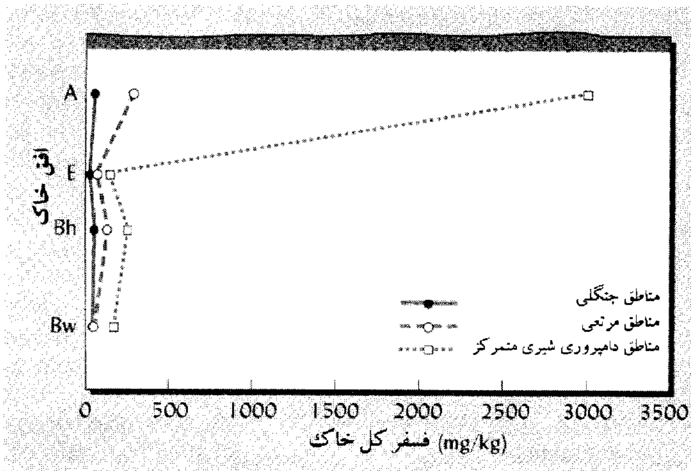
به‌نظر می‌رسد تولید متمرکز محصولات دامی و همچنین آلودگی حاصل از توسعه‌ی شهری و صنعتی مسوول طغیان جلبکی *Pfiesteria* و دیگر جلبک‌های سطحی مشابه باشد که مسوول مرگ‌ومیر هزاران ماهی در خلیج‌ها و رودخانه‌های دشت‌های ساحلی در شرق آمریکا می‌باشند.

---

[1] - Particulate
[2] - Dissolved
[3] - Okee-chobee

اعتقاد براین است که میزان فسفر زیاد در رودخانه‌ها سبب تحریک مراحل حیاتی *Pfiesteria* شود که سمی ۱۰۰۰برابر مهلک‌تر از سیانید ایجاد می‌کند، به‌طوری‌که می‌تواند ماهی‌های کوچک را در عرض چند دقیقه، و ماهی‌های بزرگ را در عرض چند ساعت از بین ببرد. شمار انسان‌های مسموم تشخیص‌داده‌شده به‌وسیله‌ی *Pfiesteria* در مناطق آلوده فقط چند نفر بوده است. تلاش‌هایی برای کاهش حرکت فضولات حاوی عناصر غذایی از خوکداری‌ها و مرغداری‌ها درحال انجام است.

مثال‌های ارائه شده روشن می‌سازد که مهار آلودگی در بسیاری از رودخانه‌ها و دریاچه‌ها نیازمند مدیریت بهتر چرخه‌ی فسفر در خاک‌ها می‌باشد، به‌خصوص کاهش انتقال فسفر از خاک‌ها به آب حیاتی است.



شکل ۵-۱۴ متوسط کل فسفر خاک در اراضی با مدیریت متمرکز، و در اراضی مرتعی مجاور و اراضی بومی (جنگلی) در سه مزرعه دامپروری شیری نزدیک دریاچه اوکی‌چوبی در جنوب ایالت فلوریدا. در اراضی با کاربرد متمرکز نزدیک اصطبل که ماده‌گاوها قبل از شیردوشی نگهداری می‌شوند، دارای فسفر فوق‌العاده زیاد می‌باشد. بعضی از این عناصر به طبقات پایین حرکت کرده‌اند. رواناب از این مناطق با تمرکز احشام در روخانه‌ها و دریاچه‌های مجاور یک منبع عمده فسفر بوده که سبب تقویت غنی‌شدن می‌گردد.

۱۴-۳ چرخه‌ی فسفر

برای مدیریت فسفر در تولید محصولات به‌طور اقتصادی، و برای حفاظت محیط‌زیست مجبوریم اشکال مختلف فسفر موجود در خاک‌ها و چگونگی برهم‌کنش این اشکال فسفر خاک را در محیط بزرگ‌تر، درک کنم، چرخه‌ی فسفر در داخل خاک، از خاک به‌داخل گیاهان عالی و برگشت آن به خاک در شکل ۶-۱۴آمده است.

فسفر محلول خاک: غلظت فسفر درمقایسه با دیگر عناصر پرمصرف مانند گوگرد و کلسیم در داخل خاک بسیار پایین و از ۰/۰۰۱ میلی‌گرم در لیتر در خاک‌های خیلی فقیر تا ۱ گرم در خاک‌های غنی با مصرف زیاد کود متغییر می‌باشد. ریشه‌ی گیاهان فسفر محلول در خاک را عمدتاً به‌صورت یون‌های فسفات (HPO_4^{-2} , $H_2PO_4^{-1}$) جذب می‌کنند، گرچه بعضی از ترکیبات آلی فسفر را نیز جذب می‌کنند. گونه‌های شیمیایی فسفر در محلول خاک به‌وسیله‌ی pH محلول، همان‌طورکه شکل ۶-۱۴ نشان داده است مشخص می‌شوند. آنیون $H_2PO_4^{-1}$ در خاک‌های خیلی اسیدی (pH = ۴ – ۵/۵) گونه‌ی غالب بوده، در حالی‌که در محلول‌های قلیایی یون دوظرفیتی HPO_4^{-2} غلبه می‌یابد. یون PO_4^{-3} از pH ۱۰ شروع به ظاهرشدن نموده و در pH ۱۴ به حداکثر خود می‌رسد (شکل ۶-۱۴). دو آنیون HPO_4^{-2} و$H_2PO_4^{-1}$ در خاک‌های با pH حدود خنثی مهم می‌باشند. به‌نظر می‌رسد در بین دو آنیون به‌نظر می‌رسد $H_2PO_4^{-1}$ بیشتر برای گیاهان قابل‌استفاده باشد، اما اثرات pH بر واکنش فسفر با سایر اجزا خاک بسیار مهم‌تر از آنیون موجود محلول در خاک است.

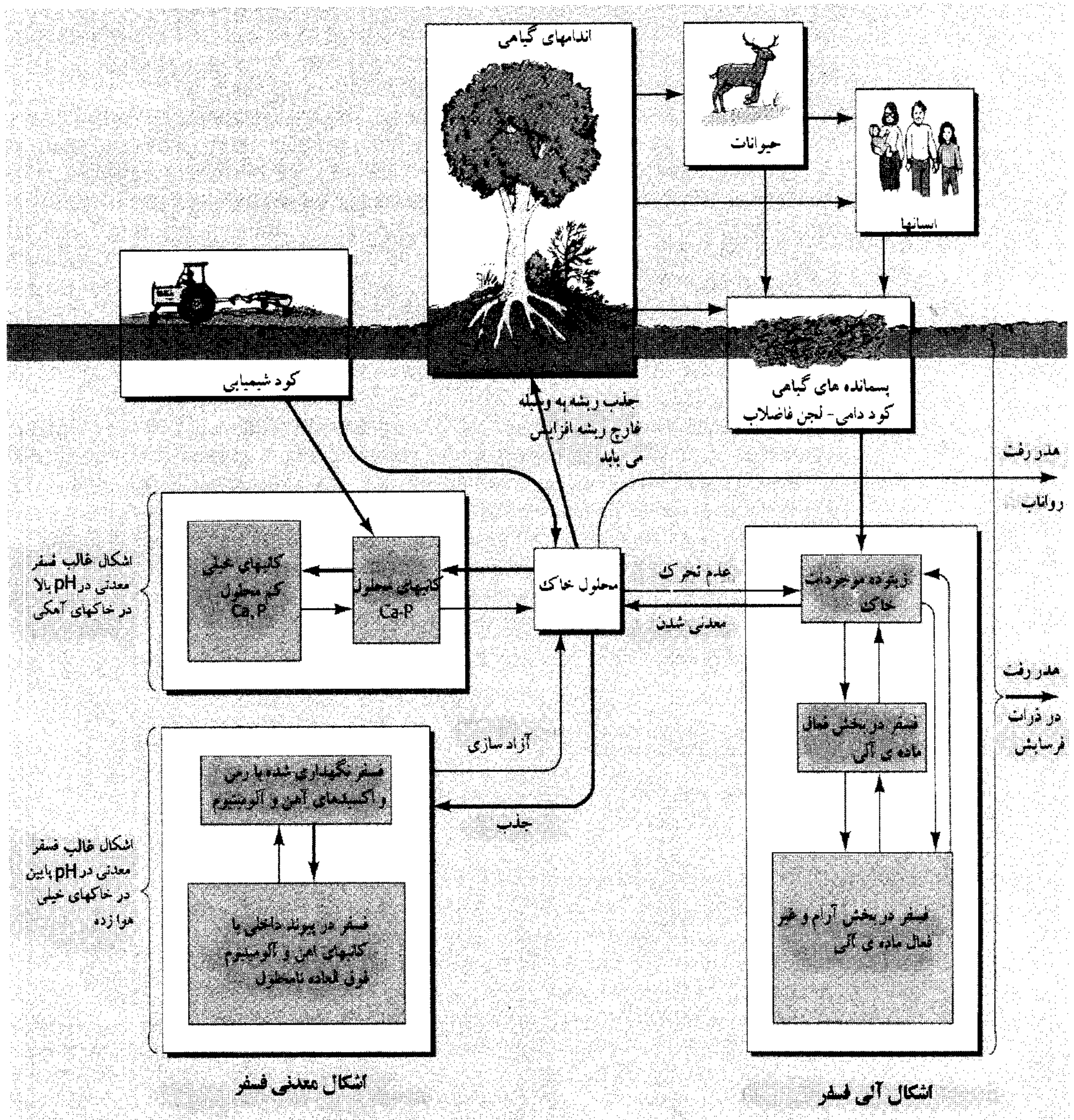
جذب فسفر به‌وسیله‌ی ریشه‌ها و قارچ ریشه[1]: جذب فسفر به‌وسیله‌ی ریشه‌ی گیاهان نه‌تنها نیازمند انحلال یون‌های فسفردر محلول خاک است، بلکه نیازمند حرکت از حجم خاک به سطح ریشه‌ها نیز می‌باشد (شکل ۸-۱۴). این حرکت معمولاً در فاصله فقط چند میلی‌متر تا یک سانتی‌متر طی انتشار فیزیکی(فصل ۱۶-۱) صورت می‌گیرد، هرچند چون یون فسفات شدیداً جذب ذرات خاک شده است، انتشار آن به ریشه چنان آهسته است که قابلیت استفاده فسفر را برای نبات دچار محدودیت می‌کند. ریشه‌های مویین، که در خاک توسعه می‌یابند، فاصله انتشار یون‌های فسفر را قبل از جذب کوتاه می‌کنند.

توجه نمایید که شکل ۸-۱۴ نشان می‌دهد، علاوه بر جذب مستقیم فسفر از محلول خاک به‌وسیله‌ی گیاه راه دیگری نیز در بسیاری از گیاهان برای جذب فسفر وجوددارد و آن همزیستی با قارچ- ریشه است (بخش ۹-۱۱). در خاک‌های دارای فسفر قابل‌استفاده پایین، بسیاری از گونه‌های گیاهی بدون همکاری قارچ- ریشه در به‌دست‌آوردن فسفر به‌ندرت می‌توانند زنده بمانند. ریسه‌های ذره‌بینی نخ‌مانند قارچ- ریشه،

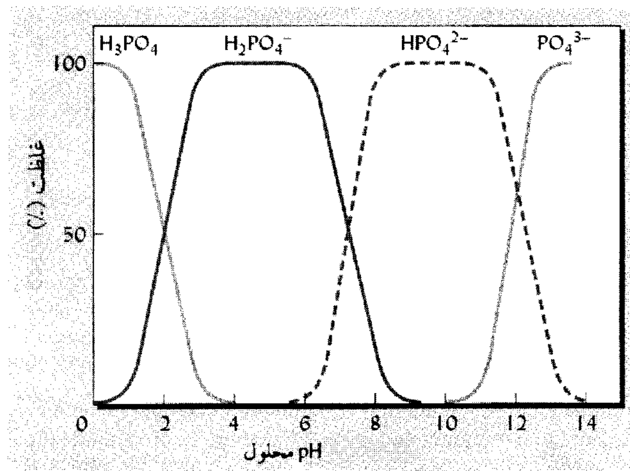
[1] -Mycorrhizae

از داخل ریشه‌ی نبات چندین سانتی‌متر به داخل خاک انتشار می‌یابند. ریسه‌ی قارچ‌ها قادرند که به‌محض ورود یون فسفر به داخل خاک آن‌ها را جذب کرده، و حتی ممکن‌است به بعضی از اشکال فسفر محبوس‌شده نیز دسترسی یابند. ریسه‌ی قارچ سپس فسفات را با انتقال از داخل یاخته‌های خود که در آن‌جا سازوکار جذب فسفر به‌وسیله‌ی خاک نمی‌تواند در انتقال فسفات دخالت کند، به سطح ریشه‌ی نبات می‌رساند(شکل ۸-۱۴).

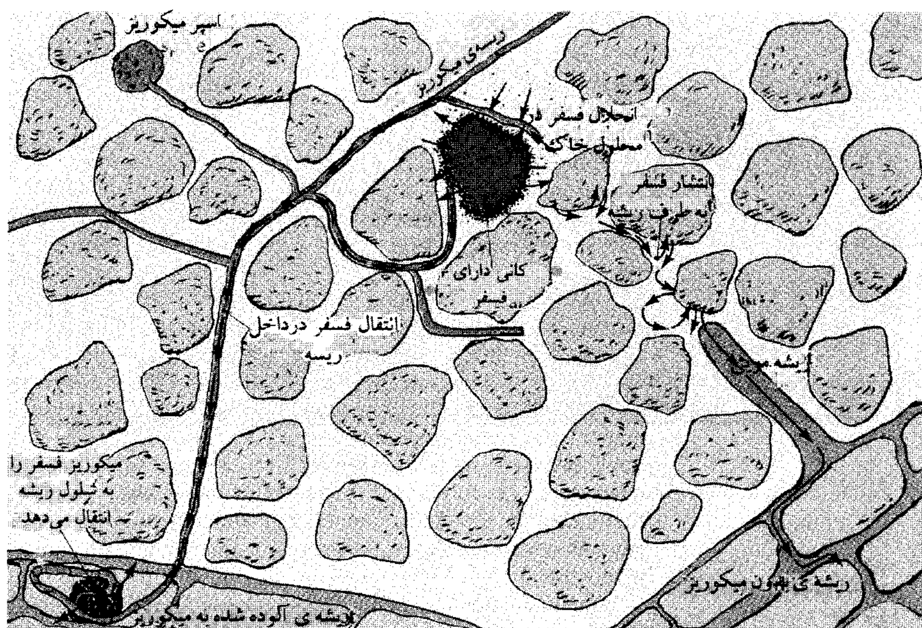
زمانی که بخشی از فسفر به‌داخل گیاهان راه یابد در آن‌جا به بخشی از اندام گیاهی تبدیل می‌شود. وقتی برگ گیاهان ریزش کرده و ریشه‌ها می‌میرند، ویا به‌وسیله‌ی انسان‌ها و حیوانات خورده می‌شوند، فسفر به‌صورت پس‌ماندهای گیاهی، لاشبرگ و فضولات انسانی و حیوانی به خاک بر می‌گردد. ریزجانداران پس‌ماندهای گیاهی را تجزیه کرده و موقتاً بخشی از فسفر را در یاخته‌های خود نگاه می‌دارند. بخشی دیگر از فسفر در مشارکت با بخش‌های فعال و غیرفعال ماده‌ی آلی قرار گرفته(بخش ۸-۱۲) و در آن‌جا ذخیره شده و یا در آینده آزاد خواهد شد. این اشکال آلی فسفر با کندی بسیار تبدیل به اشکال محلول گردیده و با جذب آن‌ها به‌وسیله‌ی ریشه‌ی گیاهان چرخه‌ی فسفر تداوم می‌یابد.



شکل ۶-۱۴ چرخه‌ی فسفر در خاک: چهارضلعی‌ها بیانگر اشکال مختلف فسفر در چرخه‌اند. درحالی‌که پیکان‌ها بیانگر تغییرمحل و تغییرشکل دربین این چهارضلعی‌ها می‌باشند. سه چهارضلعی بزرگ‌تر در شکل مشخص‌کننده گروه‌های اصلی ترکیبات دارای فسفراند که در خاک‌ها یافت می‌شوند. در داخل هر یک از این سه چهارضلعی ، اشکال با کمترین محلولیت و کمترین قابلیت استفاده تمایل دارند که شکل غالب باشند.



شکل ۷-۱۴ اثر pH برروی غلظت نسبی سه گونه‌ی یون فسفات. درمقادیر pH کم یون H^+ بیشتری در محلول وجود داشته، و بنابراین یون‌های فسفات دارای هیدروژن بیشتر غالب می‌باشند. در خاک‌های نزدیک خنثی، یون‌های HPO_4^{2-} و $H_2PO_4^-$ در مقادیر نسبتاً مساوی یافت می‌شوند. هر دو این یون‌ها به آسانی قابل‌جذب گیاهان می‌باشند.



شکل ۸-۱۴ نقش انتشار و ریسه قارچ- ریشه در حرکت ین‌های فسفات به‌ریشه‌ی گیاهان در خاک‌ها با غلظت فسفر محلول پایین و میزان تثبیت فسفر بالا، ممکن است انتشار آهسته توانایی ریشه‌ها را برای کسب فسفر کافی به‌شدت محدود کند. ریسه قارچ-ریشه‌های همزیست هنگامی‌که انتشار فسفر آهسته باشد برای نبات سودمند است، چون فسفر درداخل ریسه به‌وسیله‌ی جویبار سیتوپلاسم انتقال می‌یابد، و گیاهان را بسیارکمتر به انتشار یون‌های فسفر درداخل خاک وابسته می‌کند.

اشکال شیمیایی فسفر در خاک: در اکثر خاک‌ها مقدار فسفر قابل‌استفاده برای نبات در محلول خاک در آن واحد بسیار پایین بوده و به‌ندرت از ۰/۰۱ درصد کل فسفر خاک تجاوز می‌کند. کل فسفر در خاک در سه گروه ترکیبات عمومی یافت می‌شوند که عبارتنداز فسفر آلی، فسفر معدنی در پیوند با کلسیم و فسفر معدنی در پیوند با آهن و آلومینیوم (شکل ۶-۱۴). از فسفر معدنی، ترکیبات کلسیم در اکثر خاک‌های قلیایی غالب بوده، درصورتی‌که ترکیبات آهن و آلومینیوم در خاک‌های اسیدی خیلی مهم می‌باشند هر سه گروه از ترکیبات به آهستگی فسفر را به محلول خاک وارد می‌کنند اما اکثر فسفر موجود در هر گروه دارای قابلیت انحلال بسیار پایین بوده و برای جذب نبات قابل‌استفاده نمی‌باشند.

برخلاف نیتروژن و گوگرد، فسفر به شکل گازی در خاک از دست نمی‌رود زیرا اشکال آلی فسفر به‌شدت جذب سطوح کانی‌ها شده است(فصل ۶-۱۴). فسفر قابل‌توجهی نیز به‌وسیله‌ی آبشویی از خاک خارج نمی‌شود (به‌استثنا بعضی از خاک‌های آلی و یا خاک‌هایی که مقادیر زیادی کود دامی در آن‌ها مصرف شده است).

دست‌آورد و هدررفت : مسیرهای اصلی که فسفر در نظام خاک ازدست می‌رود عبارتند از: جذب گیاهی (۵ تا ۵۰ کیلوگرم سالانه در هکتار به‌وسیله‌ی زیتوده برداشت می‌شود)، فرسایش ذرات خاک حامل فسفر (۰/۱ تا ۱۰ کیلوگرم سالانه در هکتار برروی ذرات آلی و معدنی)، و فسفر حل‌شده در رواناب سطحی (۰/۱ تا ۳ کیلوگرم سالانه). در هر مسیر، عدد بالاتر هدررفت سالانه فسفر احتمالاً برای خاک‌های تحت کشت‌وکار مصداق دارد. مقدار فسفری که از نیوار وارد خاک می‌شود (جذب شده برروی ذرات گردوغبار) کاملاً پایین است (۰/۰۵ تا ۰/۵ کیلوگرم در هکتار در سال) اما ممکن‌است تقریباً هدررفت فسفر خاک را در بوم‌سامان جنگلی و مرتعی جبران کند. همان‌طورکه قبلاً بحث گردید، به‌نظر می‌رسد در یک بوم‌سامان کشاورزی میزان فسفر ورودی حاصل از کودهای شیمیایی از خروجی فسفر در محصول برداشت‌شده بیشتر باشد. شکل ۴-۱۴ نمونه‌های از تعادل ورودی و خروجی فسفر را در دو حوزه مجاور ارایه می‌دهد. یکی از این حوزه‌ها عمدتاً به تولید محصولات زراعی اختصاص یافته و دیگری تحت پوشش جنگل خزان‌کننده بالغ می‌باشد.

۱۴-۴ فسفر آلی خاک

هر دو شکل فسفر آلی و فسفر معدنی در خاک وجود داشته و به‌عنوان منابع این عنصر برای نبات مهم می‌باشند. مقدار نسبی این دو شکل فسفر، خاک به خاک متفاوت می‌باشد، اما اطلاعات در جدول ۴-۱۴ ارزیابی چندی از مقدار نسبی آن‌ها در تعدادی از خاک‌های معدنی ارائه می‌دهند. بخش آلی معمولاً ۸۰-۲۰ درصد فسفر کل در افق‌های سطحی خاک‌ها را تشکیل می‌دهد(شکل۹-۱۴). ممکن است افق‌های عمیق‌تر دارای مقادیر زیادتری از فسفر معدنی به‌خصوص در اقالیم خشک تا نیمه‌خشک باشند.

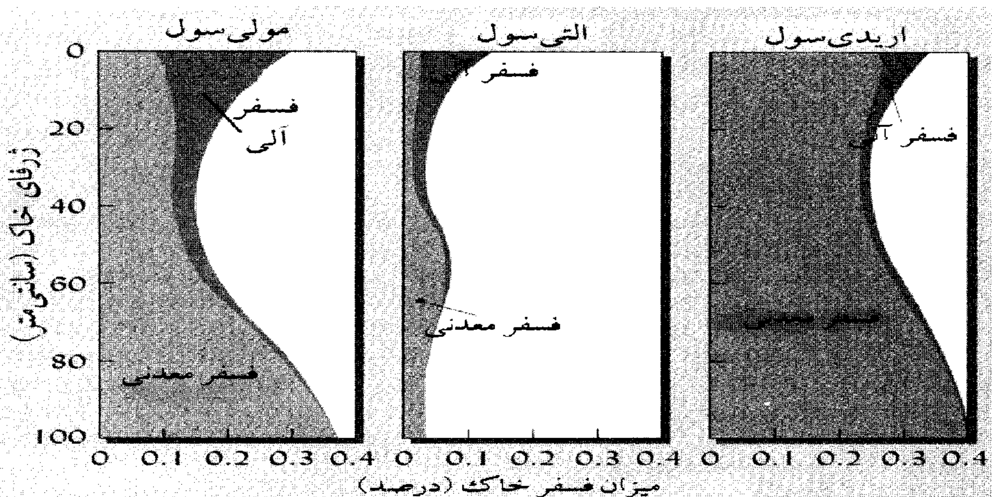
جدول ۴-۱۴ میزان کل فسفر در خاک‌های سطحی مناطق مختلف و درصدی از فسفر کل در شکل فسفر آلی

خاک‌ها		تعداد نمونه	فسفر کل mg/kg	درصد بخش آلی
اورگُن شرقی	خاک‌های مناطق مرتفع	۴	۳۵۷	۶۴
	خاک‌های واقع در دره‌های قدیمی	۴	۱۴۷۹	۳۰
	خاک‌های واقع در دره‌های جدید	۳	۸۴۸	۲۶
نیویورک	خاک‌های هیستوسول(تحت کشت)	۸	۱۴۹۱	۵۲
ایوا	مولی‌سول‌ها و آلفی‌سول‌ها	۶	۵۶۱	۴۴
آریزونا		۱۹	۷۰۳	۳۶
استرالیا		۳	۴۲۲	۷۵
تگزاس	استول	۲	۳۶۹	۳۴
هاوایی	اندی‌سول	۱	۴۷۰۰	۳۷
	اکسی‌سول	۱	۱۴۱۴	۱۹
زیمبابوه	الفی‌سول	۲۲	۸۹۹	۵۶
مریلند	التی‌سول (لوم شنی)	۶	۶۵۰	۵۹
	التی‌سول (لوم شنی جنگلی)	۳	۴۷۲	۷۰
	التی‌سول (لوم شنی زراعت)	۴	۶۴۷	۲۵

ترکیبات فسفر آلی

تا این اواخر دانشمندان توجه بیشتری به فسفر معدنی درمقایسه با فسفر آلی مبذول می‌کردند. دانش ما درمورد سرشت خاص اکثر فسفر در پیوند آلی کاملاً محدود است. گرچه سه گروه بزرگ از ترکیبات فسفر آلی شناخته‌شده در خاک‌ها یافت می‌شوند، تمام این سه نوع ماده‌ی آلی فسفردار نیز در گیاهان وجود دارند. عقیده براین‌است که اکثر ترکیبات فسفر آلی در خاک‌ها به‌وسیله‌ی ریزجانداران بازسازی می‌شود، این

سه گروه عبارتند از (۱) فسفات اینوستول و یا فسفات استر، ترکیبات قندمانند یا اینوستول ($C_6H_6(OH)_6$) (۲) اسیدنوکلوییک و (۳)فسفولیپیدها. گرچه ترکیبات دیگری نیز وجود دارند، اما، ترکیب و مقدار موجود آن‌ها کمتر شناخته شده است.



شکل ۹- ۱۴ میزان فسفر موجود در خاکرخ معرف سه راسته‌ی خاک که دارای نسبت بزرگی از فسفر آلی در افق‌های سطحی خود می‌باشند. رده‌ی اریدی‌سول دارای فسفر معدنی زیادی در سرتاسر خاکرخ خود می‌باشد، زیرا بارندگی در طول تشکیل خاک برای آبشویی بیشتر ترکیبات معدنی فسفر از خاک کافی نبوده است. میزان فسفر افزایش یافته در خاک تحت‌الارضی رده‌ی التی‌سول، به‌دلیل جذب فسفر آلی به‌وسیله‌ی اکسیدهای آلومینیوم در افق B می‌باشد. در هر دو رده‌ی مولی‌سول و اریدی‌سول، بیشتر فسفر خاک تحت‌الارضی در شکل ترکیبات معدنی فسفات کلسیم قرار دارند.

فسفات‌های اینوستول فراوان‌ترین ترکیبات فسفر آلی شناخته شده می‌باشند که ۱۰ تا ۵۰ درصد فسفر آلی کل را تشکیل می‌دهند. آن‌ها تمایل دارند که در شرایط اسیدی و قلیایی کاملاً پایدار بوده و با ترکیبات اسید هومیک با وزن مولکولی بیشتر در تعامل باشند. ممکن است این خصوصیات دلیل میزان فراوانی نسبی آن‌ها در خاک‌ها باشد.

اسیدهای نوکلوییک به‌وسیله‌ی ترکیبات هموسی و همچنین رس‌های سیلیکاتی جذب می‌شوند. جذب برروی این کلوییدهای خاک احتمالاً فسفر موجود در اسیدهای نوکلوییک را از حمله میکروبی محافظت می‌کند. اسیدهای نوکلوییک و فسفولیپیدها با هم احتمالاً فقط ۱ تا ۲ درصد فسفر آلی را در خاک‌ها تشکیل می‌دهند.

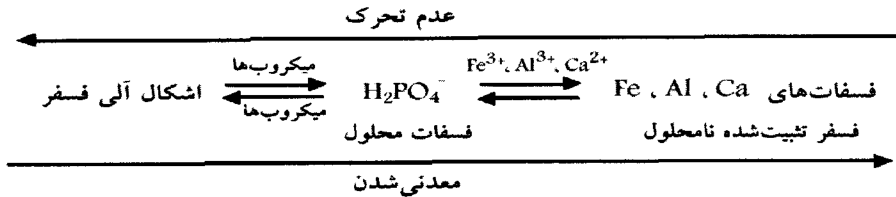
سایر ترکیبات شیمیایی که اکثر فسفر آلی خاک را شامل می‌باشند، هنوز شناخته نشده‌اند. اما به‌نظر می‌رسد بیشتر فسفر آلی با بخش اسیدفولویک ماده‌ی آلی خاک همراه باشد. بی‌خبری و غفلت ما از ترکیبات خاص موجود، از اهمیت این ترکیبات به‌عنوان تأمین‌کنندگان فسفر از طریق تجزیه میکروبی نمی‌کاهد.

اکثر فسفر در محلول خاک و در شیرابه‌های حاصل از مناطقی که مقادیر زیادی فضولات حیوانی دریافت داشته‌اند به‌صورت فسفر آلی محلول (DOP)[1] می‌باشد. DOP معمولا نسبت به فسفر معدنی محلول بیشتر متحرک می‌باشد، علت احتمالی، عدم جذب آسان آن به‌وسیله‌ی رس‌های آلی و لایه‌های کربنات کلسیم خاک می‌باشد. در افق‌های زیرین این خاک‌ها DOP معمولاً بیش از۵۰ درصد فسفر کل محلول خاک را تشکیل می‌دهد. درنتیجه در مناطق با مصرف سنگین کود دامی با خاک‌های شنی DOP می‌تواند تا حدود ۲ متر به طرف پایین حرکت کند (شکل۱۰-۱۴). در مزارع با سطح آب زیرزمینی بالا، فسفر می‌تواند از طریق آب زیرزمینی به دریاچه‌ها و یا رودخانه‌های نزدیک حرکت کرده و سبب ایجاد غنی‌شدن قابل‌توجه گردد.

معدنی‌شدن فسفر آلی: فسفر نگهداری‌شده در شکل آلی می‌تواند به‌وسیله‌ی همان فرایند عمومی که سبب آزادشدن نیتروژن و گوگرد از ماده‌ی آلی می‌گردند معدنی شده[2] و یا از تحرک[3] باز ماند.(فصل ۱۳ را مشاهده کنید).

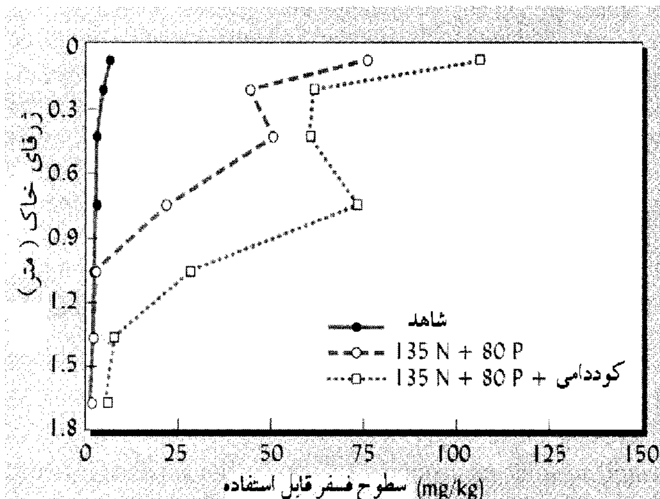
---

[1] -Dissolved organic phosphorus
[2] -Mineralization
[3] -Immobilization



هنگامی‌که بقایای‌آلی و هموس تجزیه می‌شوند ترکیبات فسفر محلول آزاد می‌گردند ین فسفات معدنی محلول به‌دست آمده ($H_2PO_4^-$)در معرض جذب به‌وسیله‌ی نباتات[1] و یا تثبیت در اشکال غیرمحلول براثر واکنش با آهن، آلومینیوم و منگنز و کلسیم خاک قرار می‌گیرد. درصورت اضافه‌شدن بقایای آلی حاوی فسفر کم اما دارای کربن و سایر عناصر به‌مقدار زیاد به خاک، میکروب‌ها فعالیت خود را افزایش داده و فسفر را به‌صورت جزیی از زیتوده‌ی[2] خود از تحرک باز می‌دارند، ین $H_2PO_4^-$ قابل استفاده در محلول خاک همانند یون‌های NO_3^- ،SO_4^- ، NH_4^+ به‌طور موقتی ناپدید می‌شود(بخش ۴-۱۳ و بخش ۲۰-۱۳). خالص عدم تحرک فسفر محلول خاک وقتی بقایای اضافه‌شده به خاک دارای نسبت $^C/_P$ بزرگ‌تر از ۱/۳۰۰ باشد به احتمال زیاد صورت می‌پذیرد، درصورتی‌که خالص معدنی‌شدن در نسبت کمتر از ۱/۲۰۰ انجام شود.

وقتی شرایط چنان باشد که ماده‌ی آلی در یک خاک افزایش یابد (برای نمونه پس از تبدیل اراضی زراعی به مرتع، گندمیان- نیام‌داران) فسفر آلی تمایل به تراکم پیدا می‌کند، اگر فسفر معدنی به این خاک اضافه شود بیشتر فسفر افزوده‌شده نهایتاً پس از جذب به‌وسیله‌ی نباتات و یا ریزجانداران در بخش آلی ذخیره می‌گردد. نسبت $^C/_P$ در ماده‌ی آلی بسیار متغیر دامنه‌ی آن و از ۱/۱۵ تا ۱/۷۵ می‌باشد، این متغیربودن با نسبت‌های تقریباً ثابت $^C/_N$ و $^C/_S$ که از خصوصیات خاک است، در تعارض بوده و از این واقعیت ناشی می‌شود که میزان معدنی‌شدن و عدم تحرک فسفر همیشه به‌موازات این فرایندها در N و S نیست.



شکل ۱۰- ۱۴ تأثیر اضافه‌کردن کود شیمیایی با و یا بدون مصرف کود گاو برای مدت ۴۲ سال بر روی میزان فسفر قابل‌استفاده در اعماق مختلف خاک مولی‌سول در نبراسکا که در آن ذرت به‌طور مداوم کشت شده است. هر دو تیمار سبب افزایش میزان فسفر قابل‌استفاده در لایه‌های فوقانی شدند، اما فقط وقتی کود دامی اضافه شد، افزایش تا زیر ۱ متر رسید. اشکال آلی فسفر در کرت با کود دامی ظاهراً به‌وسیله‌ی خاک جذب نشد، بنابراین سبب انتشار عمیق‌تر فسفر گردید که ممکن‌است در معرض حرکت از طریق آب زیر زمینی به آبراهه‌های مجاور گردد.

نقش فسفر آلی و تأمین نیازهای نبات

شواهد جدید بر آن دلالت دارند که بخش‌های آماده تجزیه، و یا با قابلیت انحلال آسان فسفر آلی خاک، اغلب مهم‌ترین عامل در تأمین فسفر به گیاهان در خاک‌های خیلی هوازده (مانند التی‌سول و اکسی‌سول) می‌باشند، هرچند ممکن است میزان ماده‌ی آلی کل در این خاک‌ها بالا نباشد. فسفر معدنی در خاک‌های خیلی هوازده چنان نامحلول است که نمی‌تواند نقشی در تغذیه‌ی نبات داشته باشد. ظاهراً ریشه‌ی گیاهان و ریسه‌ی قارچ‌ها قادرند مقداری فسفر آزاد شده از اشکال آلی را قبل از این‌که تشکیل اشکال غیرآلی داده و نامحلول گردند جذب کنند، برعکس، به‌نظر می‌رسد که اشکال محلول‌تر فسفر معدنی بزرگ‌ترین نقش را در حاصلخیزی خاک‌های کمتر هوازده (مولی‌سول‌ها و ورتی‌سول‌ها) داشته باشند، گرچه این خاک‌ها از مقادیر نسبتاً زیادی ماده‌ی آلی برخوردار می‌باشند.

معدنی‌شدن فسفر آلی در خاک تحت تأثیر بسیاری از همان عوامل که تجزیه‌ی عمومی ماده‌ی آلی خاک را کنترل می‌کنند (بخش ۱۳-۱۲). مانند دما، رطوبت، عملیات خاک‌ورزی و غیره، می‌باشند. در مناطق معتدل، معدنی‌شدن فسفر آلی در خاک‌ها به‌طور شاخص سالانه ۵ تا ۲۰

---

[1]- گرچه گیاهان می‌توانند بعضی از ترکیبات آلی فسفر را مستقیماً جذب کنند به‌نظر می‌رسد میزان این جذب در مقایسه با فسفات‌های معدنی بسیار پایین باشد.

[2] -Biomass

کیلوگرم فسفر در هکتار آزاد می‌کند که اکثر آن به‌وسیله‌ی گیاهان درحال رشد جذب می‌شود. این مقادیر می‌تواند با جذب سالانه‌ی فسفر به‌وسیله‌ی اکثر گیاهان زراعی، درختان و علف‌ها که معمولاً ۵ تا ۳۰ کیلوگرم در هکتار است مورد مقایسه قرار گیرد. ممکن است میزان معدنی‌شدن در خاک‌های جنگلی اقالیم گرمسیری که برای اولین بار زیر کشاورزی برده می‌شوند از ۵۰ کیلوگرم‌درهکتاردرسال تجاوز کند. اما درصورت اضافه‌شدن فسفر از منابع خارجی، این نرخ بالای معدنی‌شدن به‌خاطر تخلیه‌ی ماده‌ی آلی قابل‌تجزیه آسان خاک به‌زودی کاهش می‌یابد. در خاک‌های هیستوسول زه‌کشی شده (Saprists) برای استفاده کشاورزی در فلوریدا با معدنی‌شدن سریع ماده‌ی آلی برآورد می‌شود که فسفر آزادشده حدود ۸۰ کیلوگرم‌درهکتار سالانه باشد. برخلاف اکثر خاک‌های معدنی این خاک‌های آلی دارای ظرفیت کمی برای نگهداری فسفر محلول می‌باشد، بنابراین، زهاب آن‌ها دارای تجمع فسفر بوده (۰/۵ تا ۱/۵ میلی‌گرم فسفر در لیتر)، و به‌نظر می‌رسد در تخریب نظام اراضی باتلاقی Everglades مؤثر باشد.

۱۴-۵ فسفر معدنی در خاک‌ها

در بین تمام عناصر غذایی پرمصرف موجود در خاک، فسفر دارای کوچک‌ترین مقدار در محلول و یا در اشکال نسبتاً قابل‌حل می‌باشند. به‌همین ترتیب، عدم تحرک نسبی فسفر معدنی در خاک‌های معدنی شناخته شده است. دو پدیده غلظت فسفر را در محلول خاک و حرکت فسفر را در داخل خاک اداره می‌کنند که عبارتند از: (۱) حلالیت کانی‌های دارای فسفر و (۲) تثبیت و یا جذب یون‌های فسفات بر روی سطح ذرات خاک. درعمل، تفکیک تأثیر این دو نوع واکنش، ویا حتی تعیین سرشت اصلی این ترکیبات معدنی فسفر موجود در خاک، مشکل است.

تثبیت و نگهداری[1]: یون‌های فسفات محلول در خاک‌های معدنی درمعرض بسیاری از واکنش‌ها قرار دارند که تمایل دارند یون‌های فسفر را از محلول خاک جدا کرده و ترکیبات حاوی فسفر را با حلالیت بسیار پایین تولید کنند. به این واکنش‌ها به‌طور کلی اصطلاح تثبیت فسفر و یا نگهداری فسفر اطلاق می‌شود. نگهداری فسفر اصطلاح کلی‌تر بوده و واکنش‌های ته‌نشینی و تثبیت را شامل می‌باشد.

تمایل خاک‌ها برای تثبیت فسفر در اشکال غیرمحلول، غیرقابل استفاده نهایتا به پیامدهایی مهم در مدیریت فسفر منتهی خواهد شد. برای نمونه اگر تثبیت فسفر سبب شود نبات از تمام فسفر به‌استثنای بخش کوچکی از فسفر کود شیمیایی استفاده نکند به‌صورت یک مشکل در پیش رو خواهد بود از طرف دیگر تثبیت فسفر اگر بتواند سبب شود اکثر فسفر حل شده در پساب‌های غنی از فسفر استعمال شده در خاک جدا شوند، به‌صورت یک مزیت مورد نظر قرار خواهد گرفت (تابلو۲-۱۴). واکنش‌های تثبیت دخیل در هر دو موقعیت که در قابلیت استفاده فسفر در شرایط اسیدی و قلیایی کاربرد دارد، مورد بحث قرار خواهد گرفت، ابتدا با تشریح ترکیبات متفاوت معدنی و حلالیت آن‌ها آغاز می‌کنیم.

ترکیبات فسفر معدنی

همان‌طورکه در شکل ۶-۱۴ مشخص گردیده است، اکثر ترکیبات فسفر معدنی در خاک در یکی از دو گروه زیر قرار می‌گیرند: (۱)ترکیباتی که دارای کلسیم می‌باشند (۲)ترکیباتی که دارای آهن و آلومینیوم (و به‌میزان کمتر منگنز) می‌باشند.

ترکیبات فسفات کلسیم با کاهش pH خاک بیشتر قابل‌حل می‌شوند و بنابراین تمایل دارند که در خاک‌های اسیدی ناپدید گردند. از طرف دیگر، ترکیبات فسفات کلسیم در pH بالا کاملاً پایدار و بسیار غیرقابل حل بوده و بنابراین شکل غالب فسفر معدنی را در خاک‌ها خنثی و قلیایی تشکیل می‌دهند.

در بین ترکیبات کلسیم دارای فسفر (جدول۵-۱۴) کانی آپاتیت[2] دارای کمترین حلالیت، و بنابراین، کمترین فسفر قابل‌استفاده نبات می‌باشد. بعضی از کانی‌های آپاتیت برای نمونه فلوراپاتیت[3]، چنان غیرمحلول می‌باشد که حتی در خاک‌های خیلی هوادیده (اسیدی) حضور دارند. فسفات‌های ساده‌تر مانند دی‌کلسیم فسفات ($CaHPO_4.2H_2O$) و منوکلسیم فسفات ($Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$) به آسانی جذب نبات می‌شوند. این ترکیبات، به‌استثنای خاک‌های جدیداً کودخورده، در مقادیر بسیار اندکی وجود دارند زیرا به آسانی به اشکال بیشتر غیرقابل حل تبدیل می‌گردند.

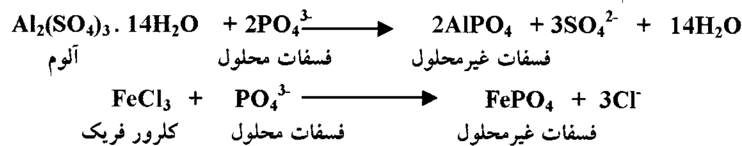
برخلاف فسفات کلسیم، کانی‌های فسفات آلومینیوم و آهن، استرنجیت ($FePO_4.2H_2O$) و وارسیت ($AlPO_4.2H_2O$) در خاک‌های خیلی اسیدی دارای قابلیت انحلال بسیار پایین می‌باشد و با بالاآمدن pH بیشتر قابل‌حل می‌گردند. این کانی‌ها بنابراین در خاک‌های قلیایی کاملاً ناپایدار، اما در خاک‌های اسیدی، که کاملاً نامحلول و پایدار می‌باشند، به وفور وجود دارند.

---
[1] - Fixation and Retention
[2] -Apatite
[3] -Fluorapatite

سایر ترکیبات که فسفر را با آهن، آلومینیوم و یا منگنز در پیوند قرار می‌دهند در خاک‌های اسیدی یافت می‌شوند. بعضی حاصل واکنش سطحی بین ین فسفات و پلی‌مرهای هیدراکسی نسبتاً بی‌شکل می‌باشند که اغلب به‌صورت پوشش روی ذرات خاک وجود دارند. شواهد نشان می‌دهند که ین فسفات حتی با آلومینیم نزدیک لبه بلورهای رس سیلیکاتی واکنش انجام داده و محصولاتی غیرقابل حل، همانند فسفات‌های آلومینیوم ایجاد می‌کنند که در فراز پیشین تشریح گردید.

تابلو ۲-۱۴ جداکردن فسفر از پساب‌ها

متخصصین و مهندسین خاکشناسی و محیط زیست فسفر را از پساب‌های شهری با استفاده از بعضی از واکنش‌ها که سبب تثبیت فسفر در خاک می‌شود، جدا می‌کنند. بعد از عملیات اصلاحی اولیه و ثانویه فاضلاب که سبب جداشدن مواد جامد و اکسایش بخش اعظم ماده‌ی آلی می‌شود، عملیات تصفیه مرحله سوم در مخازن عظیم، که به‌طور خاص طراحی شده‌اند(شکل ۱۱-۱۴) سبب ته‌نشینی فسفر براثر واکنش‌های با ترکیبات آهن و آلومینیوم مطابق زیر می‌شود:



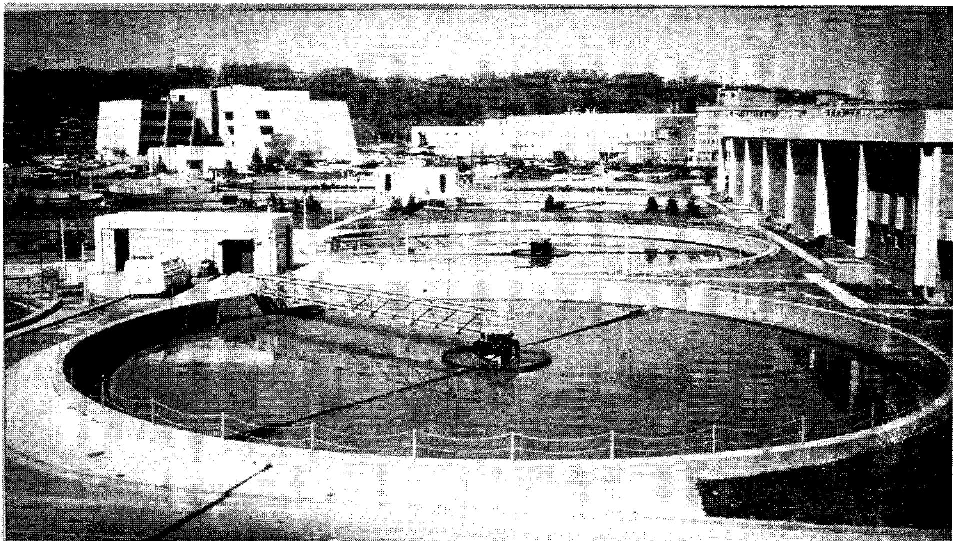
$$Al_2(SO_4)_3 . 14H_2O + 2PO_4^{3-} \longrightarrow 2AlPO_4 + 3SO_4^{2-} + 14H_2O$$

آلوم — فسفات محلول — فسفات غیرمحلول

$$FeCl_3 + PO_4^{3-} \longrightarrow FePO_4 + 3Cl^-$$

کلرور فریک — فسفات محلول — فسفات غیرمحلول

فسفات‌های آهن و آلومینیوم غیرمحلول در محلول ته‌نشین‌شده، و بعداً با سایر مواد جامد در پساب فاضلاب مخلوط و تشکیل مواد جامد فاضلاب را می‌دهند. آب حاوی فسفر پس از اندک تصفیه به رودخانه باز می‌گردد.



شکل ۱۱-۱۴ کارگاه‌های نوین تصفیه فاضلاب، برای انجام تصفیه‌ی مرحله‌ی سوم برای جداسازی فسفر موردنیاز است. واکنش‌های شیمیایی که سبب تصفیه فاضلاب می‌شود، مشابه فرایندهایی می‌باشند که در قابلیت استفاده فسفر مؤثر است.

سایر روش‌های کم‌هزینه‌تر مرحله‌ی سوم تصفیه‌ی فاضلاب شامل پخش پساب روی خاک‌های دارای پوشش گیاهی است. فرایندهای طبیعی خاک و گیاه سبب پاکسازی فسفر و سایر اجزاء از پساب خواهد شد. در بعضی سامانه‌های نفوذ آب، آب از خاک‌های نسبتاً تراوا، فرونشست پیدا می‌کند. سایر سامانه‌ها که سامانه‌های جریان سطحی نام دارند، از خاک‌هایی با بافت ریزتر و نفوذپذیری کمتر استفاده می‌کنند. پساب برروی آن‌ها به آرامی جریان داشته و امکان جداسازی اکثر فسفر محلول و سایر آلاینده‌ها به‌وسیله‌ی چند سانتی‌متر خاک سطحی فراهم می‌شود. در هر دو سامانه از ظرفیت تثبیت فسفر خاک‌ها استفاده می‌شود (شکل۸-۱۴ را مشاهده کنید).

همان‌طورکه مثال زیر تشریح می‌کند، شناخت خصوصیات و فرایندهای خاک برای طراحی مؤثر نظام‌های تصفیه فاضلاب وابسته به اراضی لازم است. یک مؤسسه‌ی بزرگ مهندسی محیط‌زیست برنده قراردادی برای ایجاد امکانات نوع نوین تصفیه فاضلاب گردید که بیشتر شبیه یک بوستان است تا کارگاه تصفیه فاضلاب، زیرا از اراضی باتلاقی و خاک‌های مصنوعی ساخته شده برای پاکسازی پساب بهره می‌برد. پس از جریان پساب از داخل تعدادی از مرداب‌های مصنوعی و نظام‌های تصفیه (شکل ۱۲- ۱۴ الف)، پساب به‌داخل یک مزرعه‌ی بزرگ، دارای

لایه‌ای از خاک نفوذپذیر مصنوعی به عمق چندین متر به‌صورت بارانی پخش می‌شد (شکل ۱۲-۱۴ب). انتظار بر این بود که فسفر با عبور از داخل خاک، تثبیت شده و غلظت آب زیرزمینی از نظر این عنصر چنان پایین بیاید که بتوان آن‌را در یک شارگاه نزدیک محل وارد کرد.

متأسفانه سامانه کار نکرد. آبی که از زیر خاکرخ مصنوعی خارج می‌شد، از نظر فسفر غنی‌تر از قبل از تصفیه بود. مسأله چه بود؟ طرح‌دهندگان به‌جای خاک معدنی، پیت(دارای کلوییدهای معدنی کم) را برای خاک مصنوعی پیشنهاد کرده بودند که آب از داخل آن فرونشست یابد. در نتیجه، ترکیبات آهن، آلومینیوم و کلسیم ناکافی برای تثبیت فسفر وجود داشت.

خاک‌شناسان که برای یاری به شهرداری دعوت شده بودند، مسأله را تشخیص داده و توصیه کردند چند قطار بار پشم و خاک آهن(آهن فلزی) در داخل پیت مخلوط شود. با اکسایش پشم آهن(اکسیده‌شده) آهن سه‌ظرفیتی تشکیل و با فسفر محلول پساب به‌طور شدید وارد واکنش شد. فسفر بدون کاهش نفوذپذیری بالای پیت(خاک) ته‌نشینی گردید.



(الف)



(ب)

شکل ۱۲-۱۴ پس از عبور از اراضی باتلاقی مصنوعی(الف) برای جداسازی نیتروژن از طریق نیترات‌زدایی(فصل۱۳). پساب فاضلاب وارد مرحله‌ی آخر تصفیه(ب) گردید که درآن امکانات نوین برای جداسازی آلاینده‌ها به‌وسیله‌ی فرایندهای طبیعی طراحی شده بود. خاک دارای رنگ تیره که زیرچمن است یک لایه ضخیم پیت است که از داخل آن پساب فاضلاب بعد از پخش به‌وسیله‌ی سامانه‌ی بارانی درمزرعه نفوذ می‌کند. پیت دارای خصوصیات فیزیکی مطلوبی برای این خاک طراحی شده است، اما برای آن‌که توانایی تصفیه فسفر همانند اکثر خاک‌های معدنی در آن ایجاد شود باید به‌وسیله‌ی افزایش آهن اصلاح گردد.

اثر گذشت زمان بر قابلیت استفاده فسفر معدنی

در هر دو خاک اسیدی و قلیایی فسفر تمایل دارد که در واکنش‌های پیاپی قرار گرفته تا ترکیبات فسفره با قابلیت انحلال هرچه کمتر تولید کند. بنابراین، هرچه فسفر در داخل خاک طولانی‌تر باقی بماند، تمایل دارد کمتر محلول گردیده و برای نبات کمتر قابل‌استفاده باشد. معمولاً وقتی فسفر قابل‌حل به یک خاک اضافه می‌شود، یک واکنش سریع فسفر را در چند ساعت اولیه از خاک جدا می‌کند(تثبیت فسفر).

واکنش‌های کندتر به‌تدریج به کاهش حلالیت فسفر در طول ماه‌ها و سال‌ها با سالمندی فسفر ادامه می‌یابد. فسفر تازه‌تثبیت‌شده ممکن‌است تا حدی محلول و قابل‌استفاده نبات باشد. با گذشت زمان حلالیت فسفر تثبیت‌شده شروع به کاهش می‌کند تا به مقادیر فوق‌العاده کم برسد.

به‌نظر می‌رسد اثر سالمندی که در ارتباط با عواملی مانند نظم و ترتیب و اندازه‌ی بلورها و فسفات‌های ته‌نشین شده، پیوند دایمی‌تر فسفات جذب‌شده در داخل ذرات کربنات کلسیم و یا اکسیدهای فلزی، و میزان پنهان‌ماندن (مدفون‌شدن) فسفات جذب‌شده با پیشرفت واکنش‌های ته‌نشینی سطحی باشد (شکل ۱۳-۱۴). طبیعت این‌ها و دیگر واکنش‌ها در زیر بررسی خواهد شد.

جدول۵-۱۴ ترکیبات دارای فسفر معدنی که معمولاً درخاک یافت می‌شوند. در هرگروه ترکیبات برحسب افزایش انحلال مرتب شده‌اند.

ترکیب	نشان، فرمول
آهن و آلومینیوم	استرنجیت $FePO_4.2H_2O$
	واریسیت $AlPO_4.2H_2O$
کلسیم	فلوراپاتیت $[3Ca_3(PO_4)_2].CaF_2$
	کربنات اپاتیت $[3Ca_3(PO_4)_2].CaCO_3$
	هیدراکسی اپاتیت $[3Ca_3(PO_4)_2].Ca(OH)_2$
	اکسی اپاتیت $[3Ca_3(PO_4)_2].CaO$
	فسفات تری‌کلسیم $Ca_3(PO_4)_2$
	فسفات اکتاکلسیم $Ca_8H_2(PO_4)_6.5H_2O$
	فسفات دی‌کلسیم $CaHPO_4.2H_2O$
	فسفات منوکلسیم $Ca(H_2PO_4).H_2O$

۶-۱۴ قابلیت انحلال فسفر معدنی در خاک‌های اسیدی

نوع خاص واکنش‌ها که سبب تثبیت فسفر در شکل‌های نسبتاً غیرقابل استفاده نبات می‌شود در خاک‌های مختلف متفاوت بوده و در ارتباط نزدیک با pH خاک می‌باشد (شکل۱۴-۱۴). در خاک‌های اسیدی این واکنش‌ها به‌طور غالب شامل Al^{3+} ، Fe^{3+} و یا Mn^{3+} یا به‌صورت یون حل‌شده، اکسید ویا هیدرواکسید می‌باشد، بسیاری از خاک‌های دارای این هیدرواکسیدها به‌صورت پوششی برروی ذرات خاک و یا رسوبات بین‌لایه‌ای در رس‌های سیلیکاتی می‌باشند. در خاک‌های قلیایی و آهکی واکنش عمدتاً شامل رسوب به‌صورت کانی‌های مختلف فسفات کلسیم (جدول۵-۱۴) می‌باشد. درمقادیر pH متوسط، جذب برروی لبه‌های کائولینیت ویا برروی پوشش اکسید آهن کائولینیت، نقش مهمی ایفا می‌کند.

ته‌نشینی به‌وسیله‌ی ین‌های آهن- آلومینیوم و منگنز

احتمالاً ساده‌ترین نوع از واکنش تثبیت فسفر برای مشاهده و بررسی، واکنش ساده یون $H_2PO_4^-$ با یون‌های محلول Fe^{3+}، Al^{3+} و Mn^{3+} برای تشکیل رسوب غیرقابل‌حل هیدرکسی‌فسفات باشد(شکل۱۵-۱۴). درخاک‌هایی با اسیدیته قوی، یون‌های محلول Fe^{3+}، Al^{3+} و Mn^{3+} برای ته‌نشینی شیمیایی تقریباً تمام ین‌های حل‌شده $H_2PO_4^-$ طی واکنش زیر به‌اندازه کافی وجود دارند:



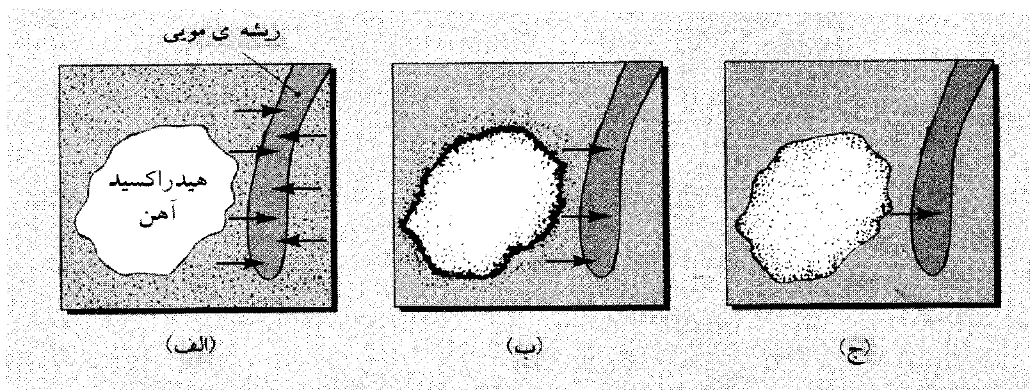
$$Al^{3+} + H_2PO_4^- + 2H_2O \rightleftharpoons 2H^+ + Al(OH)_2H_2PO_4$$

محلول   هیدراکسی‌فسفات (غیرمحلول)

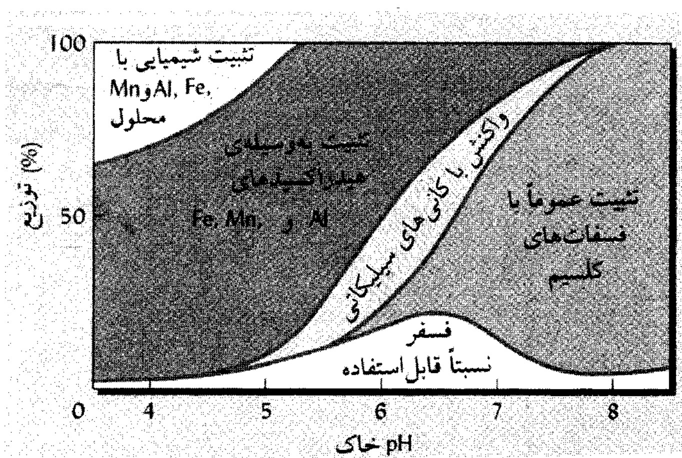
هیدراکسی‌فسفات تازه ته‌نشین‌شده به‌خاطر سطح مخصوص خیلی زیادی را که در معرض محلول خاک قرار می‌دهد کمی محلول است بنابراین فسفر موجود در آن‌ها، حداقل ابتدا تا حدی برای نباتات قابل‌استفاده است. در طول زمان با سالمندشدن هیدراکسی‌فسفات‌ها قابلیت انحلال آن‌ها کمتر شده و فسفر موجود در آن‌ها تقریباً برای اکثر نباتات غیرقابل استفاده می‌گردد.

واکنش با هیدراکسیدها و رس‌های سیلیکاتی

بیشترین تثبیت فسفر در خاک‌های اسیدی احتمالاً هنگامی صورت می‌گیرد که ین‌های $H_2PO_4^-$ با سطوح هیدراکسیدهای نامحلول آهن و آلومینیوم و منگنز، مانند گیبسیت[1] ($Al_2O_3.3H_2O$) و گوتیت[2] ($Fe_2O_3,3H_2O$) وارد واکنش شده و یا جذب می‌شوند (شکل ۳-۱۴). این هیدراکسیدها به‌صورت ذرات بلوری و غیربلوری پوشش‌هایی در بین لایه‌ها و سطوح خارجی کلوییدهای رسی وجود دارند. در بعضی شرایط، آلومینیوم ساختمانی در لبه‌ی رس‌های سیلیکاتی ۱:۱ (مثلاً کائولینیت) می‌توانند با فسفر وارد واکنش گردند. تثبیت فسفر به‌وسیله‌ی رس احتمالاً در دامنه‌ی وسیعی از تغییرات pH صورت می‌پذیرد (شکل۱۴-۱۴) مقادیر زیادی از اکسیدهای Al و Fe و رس‌های 1:1 موجود در بسیاری از خاک‌ها سبب تثبیت مقادیر زیادی از فسفر به‌وسیله‌ی این واکنش‌ها می‌شود.



شکل ۱۳-۱۴ چگونه فسفات‌های نسبتاً محلول به‌وسیله‌ی ترکیباتی مانند هیدراکسیدهای آهن و آلومینیوم به‌صورت غیرقابل محلول در می‌آیند. (الف) موقعیت بلافاصله پس از به‌کارگیری فسفات محلول. ریشه‌های موبین و ذرات هیدراکسید آهن به‌وسیله‌ی فسفات‌های محلول احاطه شده‌اند. (ب)در مدت زمان کوتاهی اکثر فسفات محلول با سطح بلور اکسیدآهن وارد واکنش شده‌اند. فسفر هنوز به‌خوبی قابل‌استفاده برای ریشه نبات است زیرا اکثر آن در سطح ذرات قرار گرفته‌است، ترشحات حاصل از نبات می‌تواند سبب تبادل آن گردد. (ج)در طول زمان فسفر در داخل بلور انتشار یافته و فقط بخش کوچکی در نزدیکی سطح یافت می‌شود. در این شرایط قابلیت استفاده آن اندک می‌باشد.



شکل ۱۴-۱۴ تثبیت معدنی فسفات‌های افزوده‌شده درمقادیر مختلف pH، شرایط میانگین موردقیاس قرارگرفته و نباید استنتاج نمود که یک خاک خاص دقیقاً دارای این توزیع می‌باشد. نسبت واقعی فسفر باقیمانده در شکل قابل‌استفاده بستگی به میزان تماس آن با خاک، زمان لازم برای انجام واکنش، و سایر عوامل دارد. باید به‌خاطر داشت که بخشی از فسفر اضافه‌شده ممکن‌است به‌یک شکل آلی درآید که در آن شکل موقتاً غیرقابل استفاده باقی بماند.

گرچه تمام سازوکارهای این واکنش درست شناخته نشده است. ین‌های $H_2PO_4^-$ به‌خاطر واکنش با سطوح کانی‌های آهن و آلومینیوم به طُرُق مختلف که منجر به درجات مختلف تثبیت می‌گردند مشخص شده‌اند. بعضی از این واکنش‌ها در شکل ۱۵-۱۴ آمده‌اند.

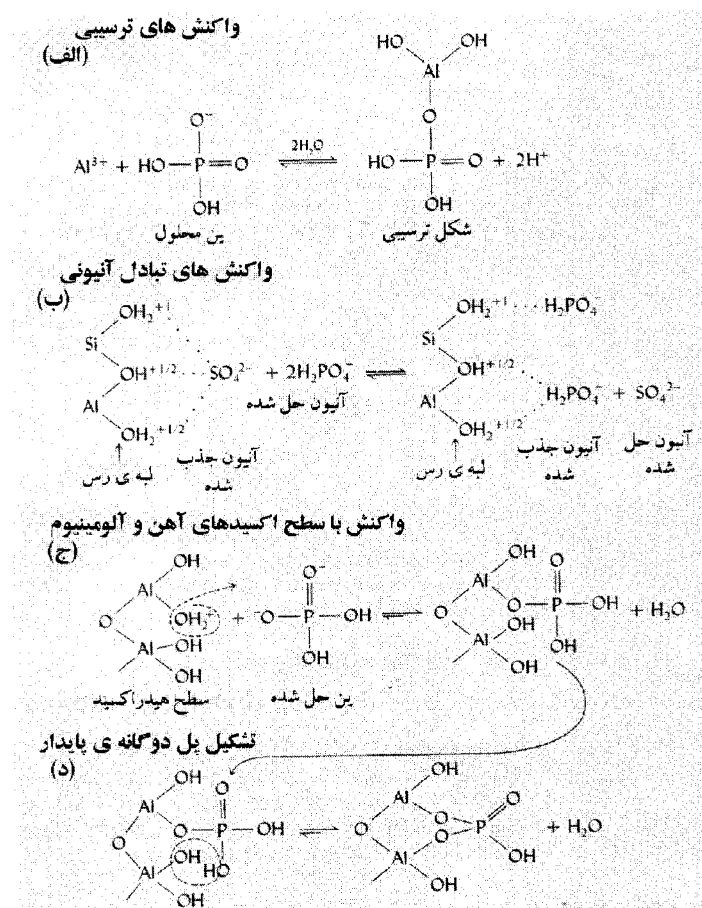
---
[1] -Gibbsite
[2] -Goethite

ممکن‌است آنیون $H_2PO_4^-$ جذب بارهای مثبت گردد که در شرایط اسیدی بر روی سطوح اکسیدهای آهن و آلومینیوم، و لبه‌های شکسته رس‌های کائولینیت ایجاد می‌شوند (شکل ۱۵-۱۴ب). ممکن است آنیون‌های $H_2PO_4^-$ جذب شده به‌وسیله‌ی نیروی الکترواستاتیک به محل‌های دارای بار مثبت، به‌وسیله‌ی آنیون‌های خاص دیگر مانند OH^-، SO_4^{2-}، MoO_4^{2-} و یا اسیدهای آلی ($R-COO^-$)، در فرایند قابل‌برگشت تبادل که در فصل ۸ بیان گردیده برداشت گردند. ازآن‌جاکه این نوع جذب ین‌های $H_2PO_4^-$ برگشت‌پذیر است ممکن‌است فسفر با تأنی برای جذب گیاهان قابل‌استفاده گردد. ممکن است قابلیت استفاده $H_2PO_4^-$ جذب شده (۱) با افزایش ین هیدراکسیل در اثر آهک‌دادن، و (۲) با اضافه‌کردن ماده‌ی آلی برای افزایش اسیدهای آلی (آنیون‌ها) برای جایگزینی $H_2PO_4^-$ افزایش یابد.

برعکس، ممکن است ین فسفات جایگزین هیدراکسیل ساختمانی گردیده و به‌طور شیمیایی با سطح اکسید (و یا رس) پیوند تشکیل دهد (شکل ۱۵-۱۴ج). این واکنش ضمن این‌که قابل‌برگشت است فسفات را چنان نگهداری می‌کند که امکان جایگزینی آن به‌وسیله‌ی سایر آنیون‌ها مشکل می‌باشد و قابلیت استفاده فسفات محکم نگهداری شده بدین‌شکل، بسیار پایین است. در طول زمان ممکن است اکسیژن دوم از ین فسفات به‌وسیله‌ی هیدراکسیل دیگر جایگزین، و فسفات از نظر شیمیایی با دو اتم آلومینیم (یا آهن) مجاور در سطح هیدرواکسید وارد پیوند شود. در این مرحله فسفات بخشی از مجموعه‌ی کانی اکسید گردیده و بنابراین امکان آزادشدن دوباره آن به محلول خاک فوق‌العاده کم است (شکل ۱۵-۱۴).

نهایتاً، با گذشت زمان، ته‌نشینی بیشتر هیدراکسید آهن و آلومینیوم سبب مدفون‌شدن هرچه‌بیشتر فسفات در داخل ذره‌ی اکسید می‌شود. این شکل فسفات تحت واژه‌ی پنهان‌شده[1] نامیده می‌شود و دارای کمترین فسفات قابل‌استفاده برای نبات می‌باشد.

واکنش‌های ته‌نشینی مشابه آن‌چه هم‌اکنون تشریح گردید مسوول کاهش سریع قابلیت استفاده فسفر اضافه‌شده به خاک به‌صورت $Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$ در کودهای شیمیایی می‌باشد (شکل ۱۶-۱۴). این نوع واکنش‌ها می‌تواند برای تنظیم حلالیت فسفر در پساب‌ها مورد استفاده قرار گیرد (تابلو ۲-۱۴ را مشاهده کنید).



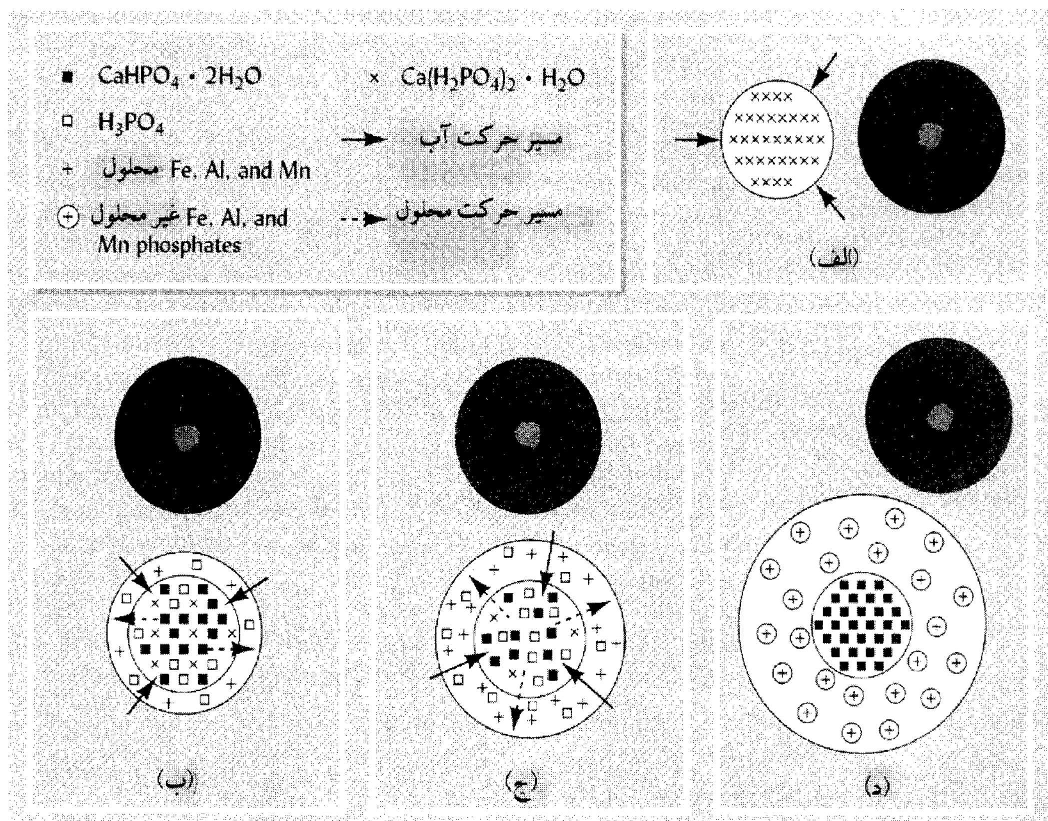
شکل ۱۵-۱۴ واکنش‌های متعددی که براثر آن‌ها یون فسفات از محلول خاک جدا شده و طی واکنش‌هایی به‌وسیله‌ی آهن و آلومینیوم در شکل‌های مختلف هیدراکسیدها تثبیت می‌شود. فسفات‌های تازه ته‌نشین‌شده‌ی آهن، آلومینیوم و منگنز (الف) نسبتاً قابل‌استفاده بوده گرچه در طول زمان به‌طور مرتب غیرقابل استفاده می‌گردند. در (ب) فسفات به‌طور قابل‌برگشت به‌وسیله‌ی تبادل آنیونی جذب می‌شود. در واکنش‌هایی از نوع آن‌چه در(ج) نشان داده شده است یک ین فسفات جایگزین یک گروه OH_2- و یا OH- در ساختار سطحی کانی‌های هیدراکسید آهن و آلومینیوم می‌گردد. در (د) فسفات در سطح کانی با تشکیل یک پل دو هسته‌ای بیشتر نفوذ می‌کند. واکنش‌های جذب سطحی (ب و ج و د) از واکنش‌هایی که فسفر را با حداقل کشش (نسبتاً قابل‌برگشت و تا حدی بیشتر قابل‌استفاده نبات) در پیوند قرار می‌دهند تا واکنش‌هایی که فسفر را با شدت در پیوند قرار می‌دهند (تقریباً غیرقابل برگشت و با حداقل قابلیت استفاده نبات) به‌ترتیب در شکل نشان داده شده‌اند. احتمال دارد درطول زمان ین‌های فسفات اضافه شده به خاک در توالی تمام این واکنش‌ها قرار گرفته و به‌طور مداوم غیرقابل استفاده گردند.

[1] -Occluded

اثر احیا آهن در شرایط مرطوب

فسفر پیوندیافته با اکسید آهن براثر سازوکارهای فوق‌الذکر در شرایط تهویه‌ای خوب بسیار نامحلول است. هرچند شرایط غیرهوازی طولانی می‌تواند آهن را در این ترکیبات از Fe^{3+} به Fe^{2+} احیا نموده و همتافت فسفات آهن را بیشتر قابل‌حل نموده و سبب آزادشدن فسفر به‌داخل محلول گردد. در اثر این واکنش، قابلیت استفاده فسفر در خاک‌های برنج‌زار بالا می‌رود.

این واکنش‌ها ارتباط خاصی با مسایل کیفیت آب دارند. فسفر در پیوند ذرات خاک ممکن است در رسوبات(نهشته‌های) ته‌نشین‌شده رودخانه‌ها و دریاچه‌ها همراه با مواد آلی و سایر مواد تجمع یابد. با غیرهوازی‌شدن نهشته‌ها، ممکن است محیط احیاء سبب آزادشدن تدریجی فسفر نگهداری شده در هیدراکسیدهای آهن گردد. بنابراین، فسفر موجود در خاک‌های فرسایش‌یافته امروزی ممکن است مسأله غنی‌شدن را در سال‌های آتی، حتی پس از مهار فرسایش و هدررفت فسفر از حوزه بالادست منبع آب به‌شدت مطرح کنند.

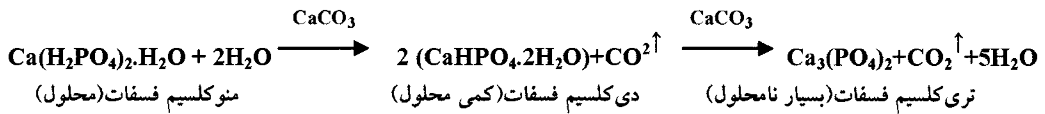


شکل ۱۶-۱۴ وقتی یک گرددانه‌ی کود فسفات منوکلسیم محلول $[Ca(H_2PO_4)_2.H_2O]$ به یک خاک مرطوب اضافه شود، مجموعه‌ای از واکنش‌های زیر به‌طور شگفت‌انگیزی قابلیت فسفر اضافه‌شده را کاهش می‌دهد.(الف) $Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$ موجود در گرددانه‌ی کود، آب را از خاک جذب می‌کند. (ب) در گرددانه مرطوب اسیدفسفریک در واکنش: $Ca(H_2PO_4)_2.H_2O + H_2O \longrightarrow CaHPO_4.2H_2O + H_3PO_4$ تشکیل می‌شود. با جذب آب بیشتر محلول اسیدفسفریک(H_3PO_4) با pH حدود ۱/۴ به‌طرف خارج گرددانه حرکت می‌کند. (ج)این محلول برای حل و جابه‌جایی آهن، آلومینیوم و منگنز خاک به اندازه کافی اسیدی می‌باشد. این یون‌ها به‌سرعت با فسفات واکنش انجام داده و ترکیبات با قابلیت انحلال کم تشکیل می‌دهند. (د) این ترکیبات بعداً به فسفات هیدروکسید آهن، آلومینیوم و منگنز در خاک‌های اسیدی تبدیل می‌گردند. در خاک‌های خنثی تا قلیایی فسفات‌های کلسیم به‌همان اندازه غیرقابل حل تشکیل می‌شوند. در هر دو حالت دی‌کلسیم فسفات نامحلول در گرددانه باقی می‌ماند. خوشبختانه فسفر موجود در ترکیبات تازه‌ته‌نشین‌شده به‌مقدار کمی برای جذب نباتات قابل‌استفاده می‌باشد اما وقتی این ترکیبات تازه ته‌نشین‌شده با گذشت زمان مواجه می‌شود و یا به اشکال بیشتر غیرقابل‌حل بازمی‌گردند، فسفر تقریباً به‌طور کامل برای نبات در کوتاه‌مدت غیرقابل استفاده می‌گردد.

۷-۱۴ قابلیت استفاده‌ی فسفر معدنی در pH های بالا

قابلیت استفاده فسفر در خاک‌های قلیایی عمدتاً برپایه‌ی قابلیت انحلال ترکیبات موجود فسفات‌های کلسیم تعیین می‌شود. در خاک‌های قلیایی (مثلاً pH = ۸) ین $H_2PO_4^-$ محلول به‌سرعت با کلسیم وارد واکنش شده و مجموعه‌ای از ترکیبات را با کاهش قابلیت انحلال در توالی

با یکدیگر ایجاد می‌کند. برای نمونه فسفات منوکلسیم با قابلیت انحلال زیاد $Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$ که به‌صورت کود شیمیایی سوپر فسفات غلیظ به خاک اضافه شده است، به‌سرعت با کربنات کلسیم وارد واکنش گشته، اول دی‌کلسیم فسفات $[CaHPO_4.2H_2O]$، و سپس تری‌کلسیم فسفات $[Ca_3(PO_4)_2]$ را طی واکنش زیر تولید می‌کند.



قابلیت انحلال این ترکیبات، و درنتیجه، قابلیت استفاده فسفر موجود در آن‌ها با تغییر فسفر از یون $H_2PO_4^-$ به ترکیب تری‌کلسیم فسفات $[Ca_3(PO_4)_2]$ کاهش می‌یابد. این ترکیب گرچه نامحلول است، اما ممکن است در معرض واکنش‌های بیشتر برای تشکیل ترکیبات نامحلول‌تر، مانند هیدراکسی، اکسی و کربنات اپاتیت و فلوراپاتیت، که در جدول ۵-۱۴ نشان داده شده‌اند قرار گیرد. این ترکیبات هزاران بار کمتر از تری‌کلسیم فسفات تازه تشکیل شده نامحلول می‌باشند. غیرقابل حل‌بودن فوق‌العاده زیاد اپاتیت‌ها در خاک‌های خنثی و قلیایی سبب می‌شود که گردسنگ‌های فسفری (که عمدتاً دارای کانی اپاتیت هستند) در واقع به‌عنوان منبع فسفر برای گیاهان غیرقابل استفاده باشند مگر این‌که به‌صورت بسیار ریز آسیاب شده(برای افزایش سطح هوادیدگی) درآمده و درخاک‌های نسبتاً اسیدی توزیع گردند.

برگشت فسفر محلول در کود شیمیایی به فسفات کلسیم فوق‌العاده غیرمحلول در خاک‌های قلیایی مناطق کم باران بسیار شدید است (برای نمونه، غرب آمریکا). ناخالصی‌های آهن و آلومینیوم در ذرات کلسیت نیز ممکن است سبب جذب مقادیر قابل‌توجهی فسفات در این خاک‌ها گردد. قابلیت فسفر در خاک‌های اریدی‌سول، انسپتی‌سول و مولی‌سول مناطق خشک ممکن است به همان مقدار اندک در خاک‌های خیلی اسیدی اسپدسول و التی‌سول مناطق مرطوب باشد که در آن‌ها آهن و آلومینیوم و منگنز سبب محدودیت استفاده فسفر می‌شوند.

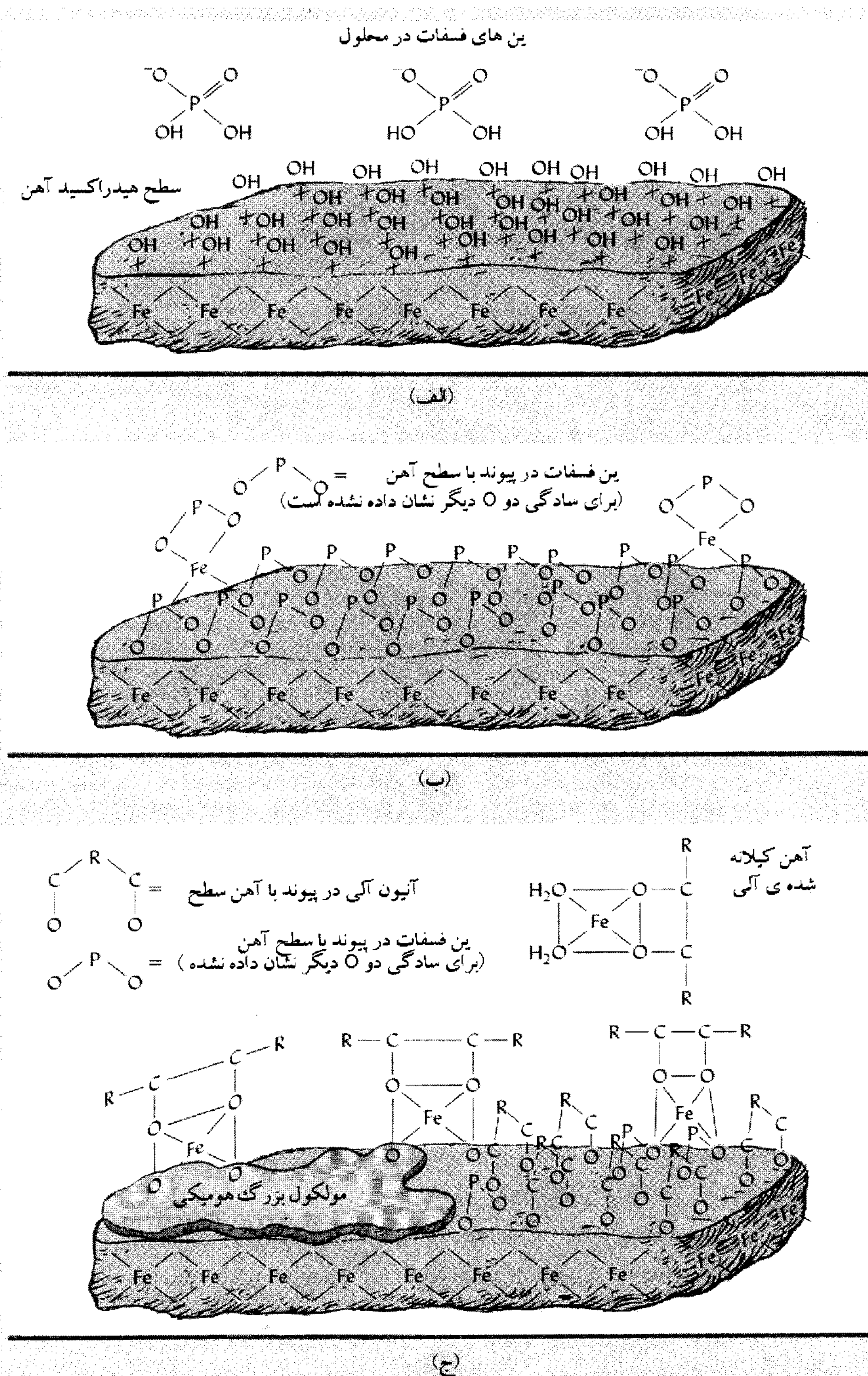
۸-۱۴ ظرفیت تثبیت فسفر خاک‌ها

ممکن‌است خاک‌ها براساس ظرفیت آن‌ها برای تثبیت فسفر در اشکال غیرقابل‌استفاده‌ی غیرمحلول مشخص گردند. ظرفیت تثبیت فسفر یک خاک را می‌توان به‌عنوان مقدار کل مکان‌هایی که در سطوح ذرات خاک قادر باشند با یون‌های فسفر وارد واکنش گردند فرض نمود. همچنین، ممکن است تثبیت فسفر به خاطر واکنش آهن، آلومینیوم و منگنز محلول باشد. انواع سازوکارهای مختلف تثبیت به طور تصویری در شکل ۱۷-۱۴ آمده است.

یک راه برای تعیین ظرفیت تثبیت فسفر خاک عبارت از تکان‌دادن مقدار مشخصی از خاک در محلول فسفر با غلظت معین می‌باشد. بعد از ۲۴ ساعت، تعادل حاصل شده و غلظت فسفر باقیمانده در محلول(غلظت فسفر تعادلی[1]) می‌تواند مشخص گردد. اختلاف بین غلظت فسفر در محلول اولیه و ثانویه بیانگر میزان فسفر تثبیت‌شده به‌وسیله‌ی خاک می‌باشد. اگر این فرایند با استفاده از مجموعه‌ای از محلول‌ها با غلظت‌های مختلف اولیه تکرار شوند نتایج می‌توانند به‌عنوان منحنی تثبیت فسفر ترسیم شوند (شکل ۱۸-۱۴). بیشینه میزان ظرفیت تثبیت فسفر می‌تواند با برون‌یابی تا افقی‌شدن منحنی تثبیت به‌دست آید.

تثبیت فسفر به‌وسیله‌ی خاک‌ها به آسانی قابل‌برگشت نیست. هرچند اگر بخشی از فسفر تثبیت‌شده به‌صورت اشکال نسبتاً محلول حضور داشته (بخش۶-۱۴)، و بیشتر محل‌های تثبیت قبلاً به‌وسیله‌ی ین فسفات اشغال گردیده باشند، آزادشدن مقداری از فسفر محلول درصورت مواجه خاک با آبی که دارای غلظت فسفر بسیار پایینی است احتمالاً صورت می‌گیرد. این آزادشدن (که اغلب واجذبی[2] نامیده می‌شود) فسفر در شکل ۱۸-۱۴ جایی که منحنی خاک A از خط تثبیت صفر گذشته و منفی می‌گردد (تثبیت منفی یعنی آزادشدن[3]) معین شده است، غلظت محلول (محور x ها) که در آن تثبیت صفر انجام می‌گیرد (نه فسفر آزاد و نه تثبیت می‌شود) EPC_O نام دارد. آزادشدن فسفر از قبل تثبیت‌شده به تأمین مجدد فسفر تخلیه شده‌ی خاک براثر جذب نبات کمک می‌کند. آزادشدن فسفر تثبیت‌شده همچنین در تعیین مقدار هدررفت فسفر حل‌شده در رواناب سطحی یک حوزه‌ی آبخیز بسیار مهم می‌باشد. EPC_O یک پارامتر مهم خاک است زیرا بیانگر میزان حاصلخیزی فسفر، و خطر هدررفت فسفر به‌وسیله‌ی انحلال در رواناب می‌باشد.

---
[1] -Equilibrium Phosphorus Concentration (EPC)
[2] -Desorption
[3] -Release

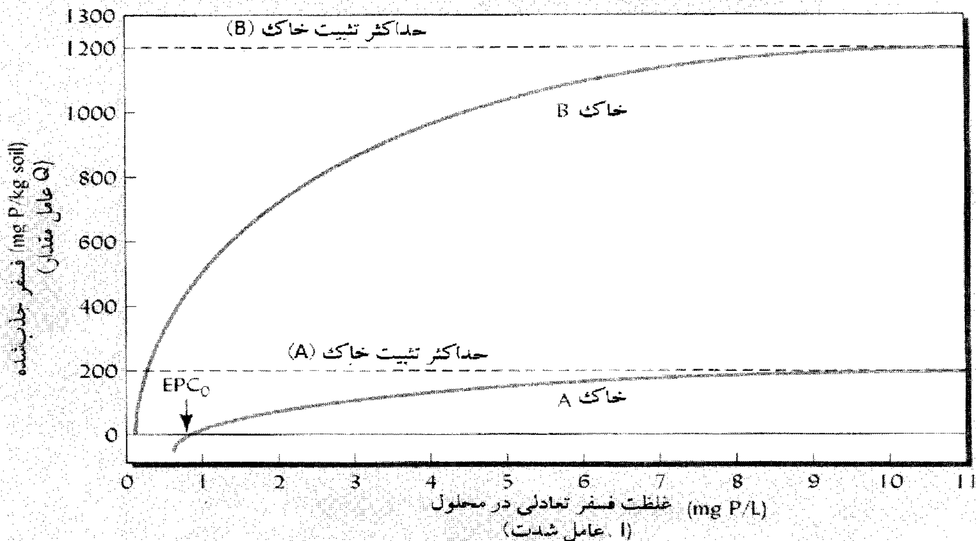


شکل ۱۷-۱۴ تشریح نموداری محل‌های تثبیت فسفر بر روی سطوح ذرات خاک که در آن هیدراکسید آهن به‌عنوان عمده‌ترین عامل تثبیت مشخص شده است. در قسمت (الف) محل‌ها به‌صورت (+) نشان داده شده است که بیانگر محل بار مثبت و یا هیدراکسیدهای فلزی می‌باشد که هر یک قادر است یک ین فسفر را تثبیت کند. در قسمت (ب) محل‌های تثبیت همگی به‌وسیله‌ی ین‌های فسفات اشغال شده‌اند(ظرفیت تثبیت خاک تکمیل شده است). بخش (ج) تشریح می‌کند که چگونه آنیون‌های آلی، مولکول‌های بزرگ آلی و آنیون‌های معدنی به‌شدت جذب شده می‌توانند محل‌های موجود برای تثبیت را کاهش دهند. این سازوکار عامل کاهش تثبیت فسفر و قابلیت استفاده هرچه بیشتر فسفر به‌حساب می‌آید که درهنگام افزودن ماده‌ی آلی به خاک ظاهر می‌شود.

روابط مقدار- شدت فسفر در خاک[1]: رابطه‌ی بین فسفر محلول و فسفر در اشکالی با حلالیت کمتر و یا تثبیت‌شده نمونه‌ای از تعادل بین عوامل شدت و مقدار در حاصلخیزی خاک می‌باشد. شدت عبارتست از مقدار عنصر غذایی حل‌شده در محلول خاک (I)، و مقدار عبارتست از مقدار عنصر غذایی همراه با بخش جامد خاک که در تعادل با یون‌های غذایی محلول (Q) می‌باشد. در شکل ۱۸-۱۴ عامل شدت در محور x ها، و عامل مقدار برروی محور y ها نشان داده شده است. شیب منحنی تثبیت که رابطه (Q-I) را در هر خاک معین می‌کند، بیانگر مقدار تغییر در عامل Q درنتیجه مقدار تغییر مشخص در مقدار عامل I می‌باشد($\Delta Q/\Delta I$). این نسبت راه دیگری برای بیان توان ظرفیت بافری خاک (PBC[2]) است:

$$PBC = \frac{\Delta Q}{\Delta I}$$

این رابطه کلی نه‌تنها درمورد فسفر بلکه در مورد پتاسیم و یا هر ماده دیگری که غلظت آن به‌وسیله‌ی واکنش‌های جذب به‌وسیله‌ی بخش جامد خاک اداره می‌شود صادق می‌باشد. در بخش ۴-۹ برای نمونه بافربودن pH مورد بحث قرار گرفته است.



شکل ۱۸-۱۴ رابطه‌ی بین تثبیت فسفر و فسفر محلول وقتی دو خاک مختلف (B و A) با محلول‌های با غلظت اولیه متفاوت فسفر مجاور گردیده و برای مدتی تکان داده می‌شوند. ابتدا هر خاک تقریباً تمام فسفر را از محلول خاک برداشت می‌کند، وقتی محلول‌ها با غلظت بیشتر و بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. خاک مقدار بیشتری فسفر جذب می‌کند. هرچند، نهایتاً محلول‌هایی به‌کار می‌روند که چنان غلظت فسفر آن‌ها بالاست که اکثر محل‌های تثبیت فسفر خاک اشغال گشته و بیشتر فسفر حل شده در محلول باقی می‌ماند. مقدار فسفر جذب شده به‌وسیله‌ی خاک، وقتی حداکثر ظرفیت تثبیت فسفر خاک تأمین شد ثابت می‌گردد (خطوط بریده را در شکل ۱۸-۱۴ مشاهده کنند که برای خاک‌های A و B به ترتیب ۲۰۰ و ۱۲۰۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک به‌دست می‌آید). اگر میزان غلظت اولیه فسفر یک محلول مساوی با غلظت تعادلی فسفر (EPC) در یک خاک خاص باشد. خاک نه فسفری از محلول برداشت می‌کند و نه فسفری به آن اضافه می‌کند (EPC= EPCo[3] و تثبیت فسفر معادل صفر است). اگر غلظت محلول فسفر کمتر از EPCo باشد خاک مقداری فسفر را آزاد می‌کند (تثبیت منفی خواهد بود). در این مثال خاک B دارای ظرفیت تثبیت بسیار بالاتر و EPCo بسیار کمتری درمقایسه با خاک A می‌باشد. می‌توان گفت که خاک B دارای ظرفیت بافری بالایی است زیرا فسفر بسیار زیادی باید به این خاک اضافه شود تا افزایش اندکی در غلظت فسفر محلول درحال تعادل حاصل آید. به‌عبارت دیگر اگر ریشه‌ی گیاه مقدار نسبتاً زیادی از کل فسفر را از خاک برداشت کند، تغییر بسیار اندکی در غلظت محلول تعادلی ایجاد خواهد شد.

عوامل مؤثر در میزان تثبیت فسفر در خاک‌ها

خاک‌هایی که بیشتر از ۳۵۰ میلی‌گرم فسفر در هر کیلوگرم خاک (ظرفیت تثبیت ۷۷۰ کیلوگرم فسفر درهکتار) از محلول را برداشت می‌کنند به‌عنوان خاک‌هایی با ظرفیت تثبیت زیاد فسفر شناخته شده‌اند. غلظت فسفر در محلول خاک و رواناب خاک‌هایی که دارای ظرفیت

1 -Quality-Intensity relation
2 -Potential Buffering Capacity(PBC)
3 -Equiliboium Phosphorus Concentration (EPC)

زیاد تثبیت این عنصر می‌باشند، ناچیز است. در جدول ۶-۱۴ بیشینه مقدار فسفر برای خاک‌های مختلف درج شده است. اثر میزان رس در این ظرفیت تثبیت کاملاً آشکار است. این عامل و دیگر عوامل حال موردبحث قرار می‌گیرند.

به‌طور کلی ظرفیت تثبیت فسفر یک خاک دارای ارتباط مثبت با خصوصیات مشخص خاک، مانند میزان کربنات کلسیم، میزان رس و میزان آهن، آلومینیوم، منگنز، به‌ویژه هیدراکسیدهای این فلزات می‌باشد.

جدول ۶-۱۴ بیشینه مقدار ظرفیت تثبیت فسفر در چندین خاک با نوع و مقدار رس متفاوت.

اکسیدهای Fe و Al (به‌خصوص انواع بی‌شکل) بیشترین مقدار و رس‌های سیلیکاتی (به‌خصوص انواع ۲:۱) کمترین مقدار را تثبیت می‌کنند

گروه بزرگ خاک و سری‌های مربوطه در صورت شناخت	موقعیت	درصد	نوع کانی	بیشینه مقدار تثبیت mg/p/kg خاک
Evesboro(Quartzipsamment)	مریلند	۶	کائولینیت،اکسیدهای Fe و Al	۱۲۵
Kandiustalfs	زیمبابوه	۲۰	کائولینیت،اکسیدهای Fe	۳۹۴
Kitsap(xerepts)	واشنگتن	۱۲	رس‌های ۱ :۲، الوفان	۴۵۳
Matapeake(Hapludults)	مریلند	۱۵	کلریت،کائولینیت، اکسیدهای آهن	۴۶۵
Rhodustalfs	زیمبابوه	۵۳	کائولینیت، اکسیدهای آهن	۷۳۷
Newberg(Haploxerolls)	واشنگتن	۳۸	رس‌های ۱ :۲، اکسیدهای آهن	۹۰۵
Tropohumults	کامرون	۴۶	اکسیدهای آهن، آلومینیوم،کائولینیت	۲۰۶۰

مقدار رس موجود : بیشتر ترکیباتی که فسفر با آن‌ها وارد واکنش می‌شوند در بخش‌های ریز خاک قرار دارند. بنابراین، اگر خاک‌ها دارای pH و کانی‌شناسی مشابه با همدیگر موردمقایسه قرار گیرند، در خاک‌ها با میزان رس بالاتر میزان تثبیت فسفر بسیار برجسته‌تر و میزان قابلیت استفاده آن بسیار کمتر خواهد شد.

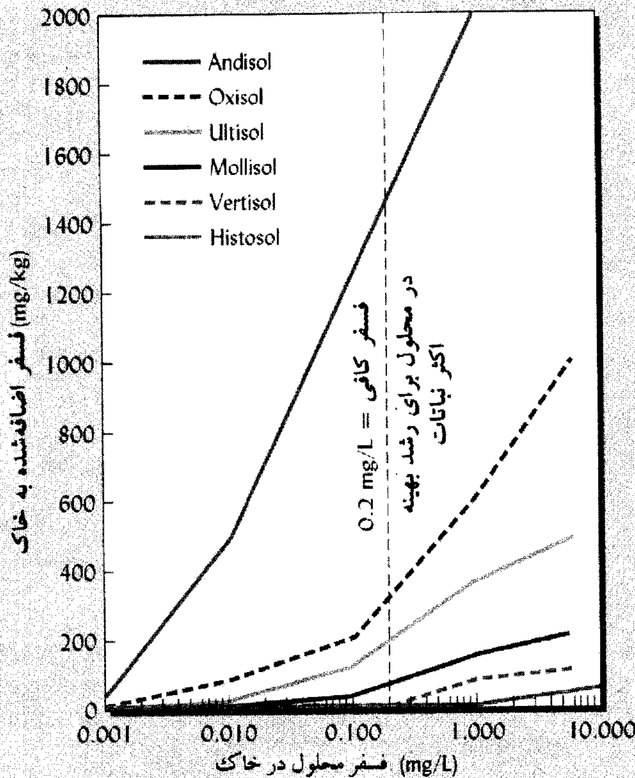
نوع کانی رسی موجود : بعضی از کانی‌های رس در تثبیت فسفر بسیار مؤثر از دیگران می‌باشند. رس‌هایی که دارای ظرفیت تبادل آنیونی بیشتری هستند (به‌علت بار مثبت سطحی) معمولاً تمایل بیشتری برای جذب یون‌های فسفات دارند. برای نمونه تثبیت شدید فسفر خصوصیت رس‌های الوفان می‌باشد که در خاک‌های اندی‌سول و سایر خاک‌های همراه با گدازه‌های آتشفشانی یافت می‌شود. هیدراکسیدهای آهن و آلومینیوم مانند گیبسیت و گوتیت نیز یون‌های فسفر را جذب و نگهداری می‌کنند. در بین رس‌های سیلیکاتی ورقه‌ای، کائولینیت دارای بیشترین ظرفیت تثبیت فسفر درمقایسه با سایر رس‌هاست. رس‌های نوع ۲:۱ در خاک با هوادیدگی کمتر دارای ظرفیت نسبتاً اندکی برای پیوند با فسفر می‌باشند. بنابراین اجزای خاک که مسول ظرفیت تثبیت فسفر هستند، به‌ترتیب افزایش میزان درجه تثبیت به شرح زیر می‌باشند:

الوفان، اکسیدهای بی‌شکل Mn،Al،Fe > اکسیدهای بلوری Mn،Al،Fe > بلورهای کربناتی > رس‌های ۱:۱<< رس‌های ۲:۱

توزیع اجزای تثبیت‌کننده‌ی فسفر خاک فوق‌الذکر در خاک‌ها، تا حدی در ارتباط با رده‌بندی خاک بوده است، در ورتی‌سول‌ها و مولی‌سول‌ها انواع رس‌های ۲:۱ غالب بوده و دارای ظرفیت پایین تثبیت فسفر می‌باشند، اکسیدهای آهن و آلومینیوم در التی‌سول‌ها و اکسی‌سول‌ها بسیار فراوان می‌باشند. مشخصه اندی‌سول‌ها دارابودن مقادیر زیادی اکسیدهای بی‌شکل و الوفان است که دارای بیشترین ظرفیت تثبیت فسفر بوده و توان تولید آن‌ها اغلب در اثر این خصوصیت محدود می‌باشد.

اثر pH خاک: بیشترین مقدار تثبیت فسفر در pH بسیار پایین و بسیار بالای خاک صورت می‌گیرد. با افزایش pH از زیر ۵ به بالای ۶ فسفات‌های آهن و آلومینیوم تا حدی محلول‌تر می‌شوند. به‌همین ترتیب وقتی pH از بیشتر از ۸ به‌زیر ۶ می‌رسد، حلالیت ترکیبات فسفات کلسیم افزایش پیدا می‌کند. بنابراین، این حکم کلی را می‌توان صادر کرد که: در خاک‌های معدنی تثبیت فسفر در پایین‌ترین حد خود (قابلیت استفاده نبات در بالاترین حد) زمانی صورت می‌پذیرد که pH خاک در فاصله ۷- ۶ حفظ گردد (شکل ۱۴-۱۴).

اگر دامنه‌ی تغییرات فسفر حتی در فاصله pH ۷-۶ باشد، قابلیت استفاده فسفر هنوز خیلی کم بوده و فسفات‌های محلول اضافه‌شده به آسانی به‌وسیله‌ی خاک‌ها تثبیت خواهند شد. باز یافت پایین فسفات‌های اضافه‌شده به خاک‌های معدنی مزارع در فصول معین سال به‌وسیله‌ی گیاهان تا حدی مربوط به این تثبیت است. بازیافت بسیار بیشتری در خاک‌های آلی (هیستوسول‌ها) و مخلوط‌های گلدانی که میزان غلظت کلسیم، آهن و آلومینیوم آن‌ها به اندازه خاک‌های معدنی نمی‌باشد قابل‌انتظار می‌باشد (شکل ۱۹-۱۴).



شکل ۱۹-۱۴ تمایل تثبیت شاخص فسفر در چندین راسته‌ی خاک: نمودار نشان‌دهنده‌ی غلظت فسفر قابل‌دستیابی در محلول خاک در هرراسته در صورت اضافه‌کردن مقادیر متفاوت فسفر قابل‌حل به‌صورت کود شیمیایی می‌باشد. گرچه در صورت تلقیح بعضی از نباتات با قارچ-ریشه‌ها می‌توانند در محلول‌هایی با غلظت پایین فسفر، به‌خوبی رشد کنند، غلظت۰/۲ میلی‌گرم فسفر در هر لیتر محلول خاک برای رشد بهینه اکثر نباتات زراعی کافی می‌باشد (جدول ۷-۱۴ را مشاهده نمایید). بنابراین نمودار بیانگر آن است که برای بهینه رشد گیاه حدود ۱۵۰۰ میلی‌گرم فسفر در هر کیلوگرم خاک به خاک‌های راسته اندی‌سول باید اضافه شود، درحالی‌که چیزی در حدود ۲۰۰ میلی‌گرم فسفر در هر کیلوگرم خاک برای همان قابلیت استفاده فسفر در خاک‌های التی‌سول باید مصرف گردد. در داخل یک راسته‌ی خاص خاک تمایل تثبیت هر خاک جداگانه ممکن است به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای تغییر یابد. منحنی‌های داده شده گرچه معرف راسته‌های مشخص شده است. اما باید به‌خاطر داشته باشیم که مصرف مقادیر بالای فسفر نهایتاً سبب کاهش ظرفیت تثبیت (کاهش شیب منحنی)، به‌دلیل پرشدن محل‌های تثبیت می‌گردد.

اثر ماده‌ی آلی: ماده‌ی آلی معمولاً دارای ظرفیت اندکی برای تثبیت یون‌های فسفات به‌طور پایدار می‌باشد. خاک‌های دارای ماده‌ی آلی زیاد به‌خصوص بخش‌های فعال ماده‌ی آلی(بخش۸-۱۲)، معمولاً مقادیر کمتری از تثبیت فسفر را به نمایش می‌گذارند. سازوکارهای متعددی مسوول تثبیت کمتر فسفر در ارتباط با مقادیر زیاد ماده‌ی آلی خاک می‌باشند(شکل ۱۷-۱۴). اول، مولکول‌های بزرگ هومیک می‌توانند به سطح رس‌ها و ذرات هیدراکسید فلزی چسبیده و سبب پوشاندن محل‌های تثبیت فسفر و جلوگیری از تعامل آن‌ها با یون‌های فسفر در محلول گردند. دوم، اسیدهای آلی تولیدشده به‌وسیله‌ی ریشه نباتات و تجزیه میکروبی می‌توانند همانند یک آنیون آلی عمل کنند، یعنی جذب بارهای مثبت و هیدراکسیل‌ها در سطوح ذرات رس و هیدراکسیدها گردند. ممکن است این آنیون‌های آلی با یون‌های فسفات برای تثبیت وارد رقابت گردند. سوم، اسیدهای آلی خاص و ترکیبات مشابه می‌توانند Al و Fe فعال را در همتافت‌های آلی که کیلات نامیده می‌شوند (فصل۶-۱۵ را مشاهده نمایید) در بر گیرند. وقتی این فلزات کیلاته شوند، برای واکنش با ین‌های فسفر در محلول در دسترس نمی‌باشند.

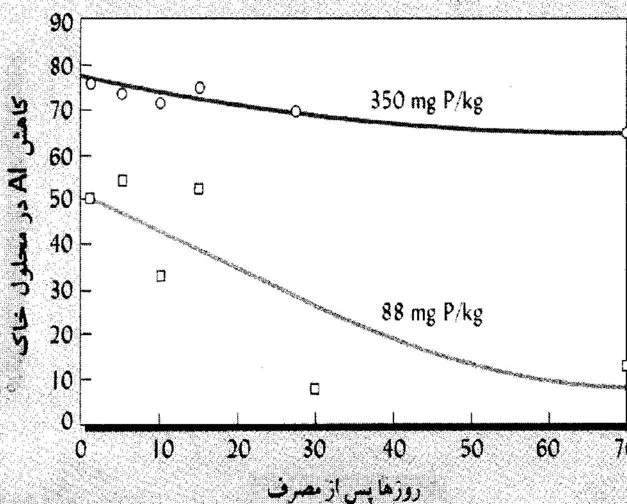
۹-۱۴ تنظیم عملی قابلیت استفاده‌ی فسفر خاک

مشاهده کردیم که اکثر خاک‌های معدنی دارای ظرفیت بالایی برای جداسازی یون‌های فسفر از محلول و تثبیت آن‌ها برروی سطوح ذرات می‌باشند، بنابراین امکان به‌دست‌آوردن مقادیر کافی از این عناصر اساسی برای نبات مشکل می‌گردد. فسفر موجود در کود شیمیایی نیز در معرض تثبیت برروی سطوح ذرات خاک بوده و احتمال دارد که فقط ۱۰ تا ۱۵ درصد فسفر اضافه شده در کود شیمیایی در سال مصرف به‌وسیله‌ی نبات جذب گردد. بنابراین قابلیت استفاده فسفر یک عامل محدودکننده در بسیاری از بوم‌سامانان زراعی می‌باشد. براساس اصول رفتاری فسفر خاک که در این فصل تشریح گردیدند. تعدادی رهیافت می‌تواند برای اصلاح مسأله‌ی حاصلخیزی فسفر توصیه گردد.

۱- اشباع ظرفیت تثبیت فسفر: درصورت مصرف فسفر کافی، ظرفیت تثبیت فسفر حتی در خاک‌های تثبیت‌کننده شدید فسفر می‌تواند به‌طور عمده اشباع گردد. این محل می‌تواند تماماً در یک مرحله با مصرف یک یا دو بار مقادیر مصرف سنگین (معمولاً به‌صورت کودهای شیمیایی فسفره، سنگ فسفات و یا کود دامی دارای میزان فسفر بالا) انجام گیرد، و یا درطول سال‌ها با اضافه‌کردن فسفر بیشتری از آن‌چه نبات برداشت می‌کند تحقق یابد. رهیافت اشباع فسفر چه سریع و چه آرام نهایتاً سبب پرشدن تمام محل‌های تثبیت فسفرشده و منجر به ایجاد خاکی با فسفر چنان بالایی می‌گردد که مقادیر فراوان فسفر به‌رغم ظرفیت بالای تثبیت فسفر اولیه، در محلول خاک باقی می‌ماند. این رهیافت، به‌خصوص

بالابردن سریع فسفر، می‌تواند با توجه به سرمایه‌گذاری اولیه برای کود فسفره خیلی پرهزینه باشد. به این دلیل، برای اکثر زراعین و جنگل‌داران جهان کاربرد این روش عملی نیست، ولی در بعضی از نظام‌های زراعی پرنهاده این رهیافت عملی شده است. مانع دوم این رهیافت توان آن برای آلودگی آب ناشی از مقدار زیاد فسفر آزاد شده در رواناب خاک‌های اشباع از فسفر می‌باشد.

۲- جایگذاری کودهای فسفره: راهبرد مناسب برای به‌حداکثررساندن ارزش کود همانا به‌حداقل‌رساندن فرصت برای واکنش فسفر با خاک قبل از جذب به‌وسیله‌ی نبات، می‌باشد. معمولاً به‌جای این‌که کود کاملاً با خاک مخلوط گردد (دست‌پاش)[1] اگر مستقیماً در منطقه انتشار ریشه به‌طور موضعی جایگذاری (جایگذاری نقطه‌ای)[2] شود میزان مصرف کود ۱/۲ تا ۱/۳ خواهد شد. جایگذاری نقطه‌ای در مناطقی که کود با دست توزیع می‌شود. به‌طور وسیعی مورد استفاده می‌باشد. اما ماشین‌های چرخ‌دندانه‌ای تزریق کود(شکل ۲۶-۱۶) چنان تکامل یافته‌اند که می‌توانند جایگذاری نقطه‌ای راحتی در نظام‌های مکانیزه عملی کنند. مصرف نواری[3] کود یک روش استاندارد برای کودهای آغازکننده‌ی[4] رشد نبات است (شکل۲۵-۱۶). درختان اغلب به‌وسیله‌ی روش قرص (چاله‌ای[5]) کود داده می‌شوند. در نظام‌های نبود خاک‌ورزی یک نوار سطحی از کود اغلب ایجاد می‌گردد. در شکل۲۰-۱۴ مشخص می‌شود تراکم کود در نوار چگونه سبب کاهش قابل‌توجه سطوح سمی آلومینیوم در خاک‌های خیلی اسیدی شده است.



شکل ۲۰-۱۴ درصد کاهش در آلومینیوم محلول براثر مخلوط‌کردن ۲ میزان فسفات محلول در یک خاک مولی‌سول اسیدی در ایالت اکلاهوما. میزان بالا تقریباً معادل سطحی است که بلافاصله در خاک در اطراف محل مصرف نواری فسفر قابل‌انتظار است. درحالی‌که میزان پایین بسیار نزدیک به همان مقدار فسفر است که به‌طور دستپاش در تمام سطح خاک پخش شده است. هر دو روش، میزان آلومینیوم محلول را بلافاصله بعد از مصرف کاهش داد، اما بعد از ۷۰ روز، کاهش فقط در مورد مقدار فسفر با میزان بالاتر معنی‌دار بود. مصرف نواری فسفر سبب سطح بالاتر فسفر به‌طور موضعی گردید و همزمان با آن اثرات سمی آلومینیوم درهنگام جوانه‌زدن گیاهچه‌ها کاهش یافت.

۳- ترکیب کودهای آمونیوم با کودهای فسفره : استفاده از آمونیوم در همان نوار با کودهای فسفره جذب فسفر را به‌وسیله‌ی ریشه گیاه به مقدار زیادی، به‌خصوص در خاک‌های قلیایی افزایش می‌دهد. افزایش جذب فسفر احتمالاً مربوط به اسیدهایی است که درطول نیتراتی‌شدن، و یا اسیدهایی است که ریشه‌ها به‌خاطر تولید آن هنگام جذب نیتروژن موردنیاز خود در شکل آمونیوم شناخته‌شده می‌باشند(شکل۳-۱۳)کودهای فسفاته منو و دی‌آمونیوم اغلب دارای این مزیت می‌باشند (شکل ۲۱-۱۴).

۴- انتخاب گیاهان با کارایی زیاد مصرف فسفر: بعضی از نباتات قادرند در روی خاک‌هایی که دارای فسفر قابل‌استفاده بسیار کمی می‌باشند به‌خوبی رشد کنند (جدول۷-۱۴). سازوکار جذب کارآمدتر فسفر تا حدی شناخته شده است. بعضی از نباتات دارای نظام ریشه ریز با گستردگی بسیار می‌باشند. سایر نباتات وابسته به همکاری کارآمد قارچ-ریشه‌اند. گرچه سایر نباتات ترشحات خاص ریشه تولید می‌کنند که سبب انحلال فسفات کلسیم (در مورد گندم سیاه) و یا فسفات‌های آهن (در مورد لوبیا چشم بلبلی) می‌شوند.

۵ – چرخه‌ی بیشتر فسفر آلی: ممکن است معدنی‌کردن مواد آلی (کود دامی و یا سایر مواد غنی از فسفر) اضافه‌شده به خاک سبب آزادی تدریجی فسفر تا حدی موزون و همزمان با نیازهای نبات گردد، این آزادشدن آهسته به نبات امکان می‌دهد که فسفر را قبل از این‌که واکنش‌های تثبیت از خاک جدا کنند، از منبع قابل‌استفاده جذب کند. ریزش برگ درختان و پس‌مانده‌های نبات فسفر را در اشکال آلی با توان

---
[1] -Broadcasting
[2] -Point placement
[3] -Banding
[4] -Starting fertilizer
[5] -Pellet

معدنی‌شدن به خاک برمی‌گرداند. تناوب گیاهان دارایی کارآیی بالای مصرف فسفر با گیاهان دارای کارایی پایین آن ممکن‌است اشکال معدنی فسفر جذب‌شده به‌وسیله‌ی نباتات کارا را به اشکال آلی در بقایای این گیاهان تبدیل کند. تجزیه بعدی و معدنی‌شدن این بقایا ممکن‌است تأمین فسفر را برای گیاهان دارای کارایی کمتر افزایش دهد (شکل۲۲-۱۴). در خاک‌هایی با مقدار فسفر کل بالا اما با قابلیت استفاده پایین فسفر، تناوب زراعی، مدیریت بقایا و جنگل-زراعی[1] ممکن است تماماً سبب جابه‌جایی فسفر بیشتر به اشکال آلی گردند تا آن‌ها را از تثبیت‌شدن محافظت کنند. ممکن‌است این فسفر در آینده با معدنی‌شدن ترکیبات آلی قابل‌استفاده گردد.

۶- **چرخه بیشتر مواد آلی:** ماده‌ی آلی خاک علاوه بر تهیه فسفر آلی برای معدنی‌شدن می‌تواند قابلیت استفاده فسفر را با کاهش تمایل بخش جامد برای تثبیت فسفر بهبود بخشد. پوشاندن محل‌های تثبیت فسفر به‌وسیله‌ی هموس و اسیدهای آلی و کیلاته‌کردن Al و Fe در بخش۸-۱۴ مورد بحث قرار گرفت. برگشت‌دادن پس‌ماندهای گیاهی، منظورکردن گیاهان کود سبز در تناوب، خاک‌پوش به‌وسیله‌ی مواد آلی مختلف و افزودن کود دامی و سایر پس‌مانده‌های آلی قابل‌تجزیه می‌تواند فسفر قابل‌استفاده را افزایش دهد.

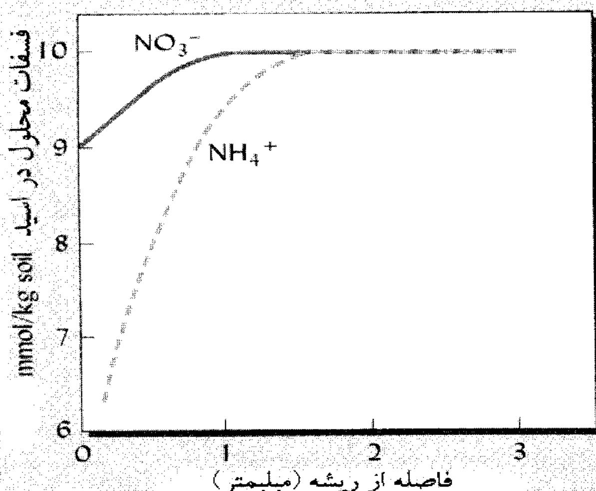
۷ – **تنظیم pH خاک:** تنظیم قابلیت انحلال فسفر را می‌توان تا حدی با نگهداری pH در فاصله ۷ – ۶ به‌دست‌آورد (شکل ۱۴-۱۴ را مشاهده کنید). نگهداری pH در این فاصله در خاک‌های کمتر هوازده بسیار عملی‌تر از خاک‌های خیلی هوازده مناطق گرم و مرطوب می‌باشد. آهک‌دادن مناسب می‌تواند سبب بهبود قابلیت استفاده فسفر در بسیاری از موارد گردد، اما اگر منبع آهک در محل موجود نباشد ممکن است هزینه عامل محدودکننده باشد.

۸ – **ارتقای همزیستی قارچ- ریشه‌ای:** همان‌طورکه قبلاً بیان شد قارچ-ریشه‌ها توانایی گیاهان را برای به‌دست‌آوردن فسفر در خاک‌های دارای مقادیر اندک فسفر محلول ارتقاء می‌دهند (بخش۳-۱۴). در مورد بسیاری از بوته‌ها و درختان جنگلی تلقیح نهالچه‌ها با ارقام سازگار قارچ- ریشه یک روش عملی هنگام غرس نهال‌های جدید است (بخش۹-۱۱). هرچند در بیشتر گیاهان همزیستی میکوریز با ایجاد شرایط مناسب در خاک براثر تناوب زراعی، اضافه‌کردن موادآلی و انجام حداقل عملیات خاک‌ورزی می‌تواند به بهترین وجه ارتقاء یابد.

در خلاصه و جمع‌بندی بحث فسفر باید بیان نمود که منبع اندک فسفر قابل‌استفاده در اکثر خاک‌ها براثر تعدادی از فرایندها تخلیه و دوباره ذخیره می‌شود (شکل۲۳-۱۴). نگهداری فسفر قابل‌استفاده کافی در خاک اساساً یک برنامه دو مرحله‌ای است: (۱)افزودن کود شیمیایی و مواد اصلاح‌کننده‌ی فسفر(۲)تنظیم فرایندهای خاک تا حدی که سبب تثبیت فسفر اضافه شده و بومی خاک گردند.

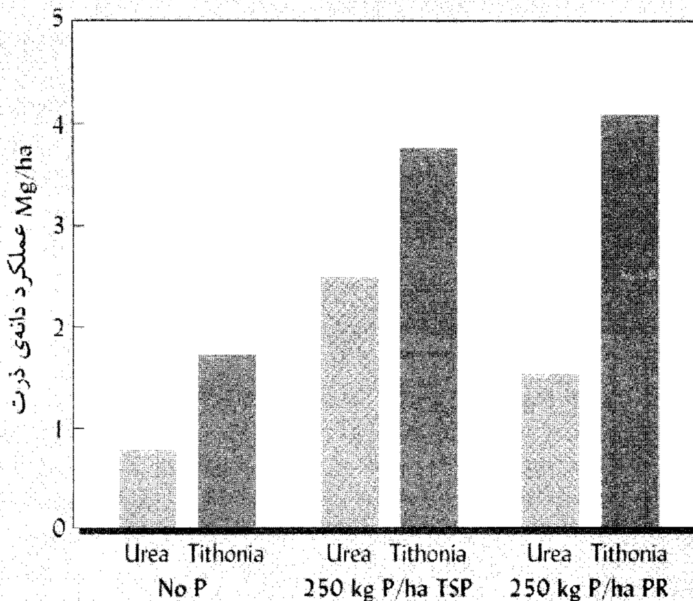
جدول (۷-۱۴) علظت فسفر مورد نیاز در محلول خاک برای رشد بهینه (۹۵٪ حداکثر رشد) درگیاهان مختلف

گیاه	کاساوا	بادام‌زمینی	ذرت	ذرت خوشه‌ای	کلم	سویا	گوجه‌فرنگی	کاهوبرگی
مقدار تقریبی فسفر در محلول خاک mg/L	۰/۰۰۵	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۲	۰/۲	۰/۳

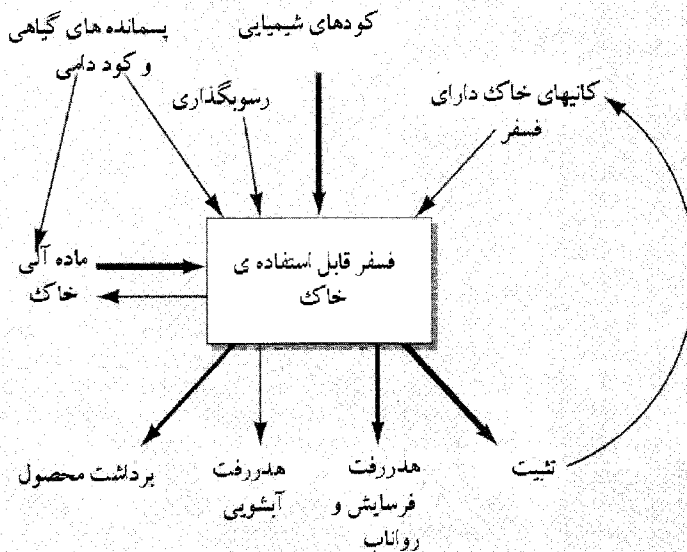


شکل ۲۱-۱۴ اثر منبع نیتروژن (نیترات درمقایسه با آمونیوم) بر میزان فسفر محلول در اسید در نزدیکی سطح ریشه‌ی چاودار. به‌نظر می‌رسد یون‌های NH_4^+ سبب افزایش اسیدیته در نزدیکی ریشه‌ها گردیده و باعث انحلال مقداری از فسفر خاک شدند که به‌وسیله‌ی نباتات چاودار جذب، و سبب باقی‌ماندن سطح پایین فسفر در خاک گردیده است.

[1] -Agroforestry



شکل ۲۲-۱۴ یک خارپشته معمولی تی‌تونیا *Tithonia.dirersifola* که بر روی خاک‌های غیرحاصلخیز اکسی‌سول در کنیا رشد می‌کند یک منبع مؤثر غذایی برای گیاهان زراعی همراه می‌باشد. عکس‌العمل محصول تا حدی مرتبط به تأمین پتاسیم به‌وسیله‌ی تی‌تونیا و تا حد دیگر مؤثربودن هرچه بیشتر سنگ‌های فسفاته بر روی کرت‌هایی است که بقایای تی‌تونیا را دریافت می‌دارند. تحقیقات مطرح می‌کنند که تجزیه بقایای تی‌تونیا ممکن است سبب افزایش فعالیت میکروب‌های خاک و کاهش ظرفیت جذب فسفر خاک گردد.



شکل۲۳-۱۴ چگونگی تخلیه و جبران دوباره‌ی منبع فسفر قابل‌استفاده خاک در یک بوم‌سامان زراعی. عرض پیکان‌ها بیانگر مقدار فسفر در هر مسیر است. دو مسیر عمده در اکثر خاک‌های زراعی عبارتند از اضافه‌کردن فسفر در مواد اصلاحی (معمولاً کود شیمیایی) و تثبیت بعدی بیشتر فسفر اضافه‌شده در شکل‌های غیرقابل استفاده، برگشت پس‌مانده‌های حاصل از نبات و حیوان و معدنی‌شدن بعدی ماده‌ی آلی می‌توانند نقش‌های عمده‌ای در جبران فسفر قابل‌استفاده ایفا کنند. توجه داشته باشید که هدررفت حاصل از آبشویی قابل‌صرفنظرکردن می‌باشد.

۱۰ - ۱۴ پتاسیم: سرشت و نقش بوم‌شناختی

در بین تمام عناصر غذایی، پتاسیم با احتمال خیلی زیاد بعد از نیتروژن و فسفر سومین عنصری است که توان تولید نباتات را محدود می‌کند و به این دلیل پتاسیم معمولاً به‌صورت کودهای شیمیایی به خاک اضافه شده و از اجزاء اکثر کودهای شیمیایی مخلوط است.

داستان پتاسیم در پاره‌ای از موارد با فسفر متفاوت است، برخلاف فسفر (گوگرد و تا حد زیادی نیتروژن) پتاسیم در محلول خاک به‌صورت یک کاتیون باردار، K^+ وجوددارد. همانند فسفر پتاسیم ترکیبات گازی تشکیل نداده تا در نیوار تلف گردد. رفتار پتاسیم در خاک عمدتاً تحت تأثیر خصوصیات تبادل کاتیونی خاک و هوادیدگی کانی‌ها درمقایسه با فرایندهای میکروب‌شناسی می‌باشد. برخلاف نیتروژن و فسفر، پتاسیم هنگام خروج از خاک مسایل زیست‌محیطی خارج از محل اصلی[1] ایجاد نمی‌کند. این عنصر سمی نبوده و غنی‌شدن را در سامانه‌های آبی به‌بار نمی‌آورد.

---
[1] -Offsite

۱۱- ۱۴ پتاسیم در تغذیه‌ی نبات و حیوانات

با آن‌که پتاسیم نقش‌های متعددی در تغذیه‌ی نبات و حیوان ایفا می‌کند، ولی در واقع در ساختمان ترکیبات آلی وارد نشده، و به‌صورت یونی (K^+) در محلول یاخته باقی مانده، و یا به‌صورت فعال‌کننده در آنزیم‌های یاخته‌ای عمل می‌کند. پتاسیم از نظر فعال‌کردن ۸۰ آنزیم مختلف مؤثر در فرایندهای نباتی و حیوانی مانند سوخت‌وساز انرژی، ساختن نشاسته احیای نیترات، سوخت‌وساز نوری و تجزیه‌ی قند شناخته شده است. گیاهان خاصی که بسیاری از آن‌ها در محیط‌های نیمه‌خشک غنی از سدیم، تکامل یافته‌اند می‌توانند سدیم و یا دیگر یون‌های یک‌ظرفیتی را برای ایفای بعضی از نقش‌های پتاسیم، اما نه همه‌ی آن‌ها جایگزین کنند.

به‌عنوان یک جزء از محلول سیتوپلاسم یاخته، پتاسیم یک نقش حیاتی در پایین‌آوردن پتانسیل اسمزی یاخته‌ای ایفا می‌کند. بنابراین، هدررفت آب را از منافذ برگ کاهش داده و توانایی یاخته‌های ریشه را برای جذب آب از خاک بالا می‌برد (بخش ۳-۵ را درمورد تشریح پتانسیل اسمزی آب مشاهده کنید). پتاسیم برای سوخت‌وساز نوری، بازساختن پروتیین، تثبیت نیتروژن در نباتات، تشکیل نشاسته و جابه‌جایی قند در نباتات ضروری می‌باشد. با توجه به تمام نقش‌های فوق‌الذکر، تأمین مناسب این عنصر سبب ارتقاء تولید دانه‌های فربه و غده‌های بزرگ می‌شود. میزان پتاسیم مورد انتظار در بافت‌های عادی و سالم برگ می‌تواند در حدود ۱ تا ۴ درصد، تقریباً مشابه نیتروژن اما ده برابر بیشتر از فسفر در اکثر نباتات باشد.

پتاسیم از نظر یاری گیاهان برای سازگاری با تنش‌های محیطی مخصوصاً مهم است. تغذیه‌ی خوب پتاسیم نبات سبب ایجاد مقاومت بالا به خشکسالی، مقاومت به سرمای زمستانی، مقاومت بیشتر به امراض قارچی و آفات ناشی از حشرات می‌گردد (شکل۲۴-۱۴). مصرف کود پتاسه اغلب بخشی از برنامه‌ی مبارزه‌ی تلفیقی مدیریت آفات[1] می‌باشد که برای کاهش استفاده از آفت‌کش‌های شیمیایی طراحی شده است[2]. پتاسیم همچنین سبب ارتقاء کیفیت گل‌ها، میوه‌ها و سبزی‌ها با بهبود مزه، رنگ و تقویت ساقه‌ها (بنابراین کاهش ورس) می‌گردد. به‌نظر می‌رسد در بسیاری از این موارد که پتاسیم با اثرات زیان‌بار زیادی نیتروژن مقابله می‌کند. حفظ تعادل بین پتاسیم و سایر عناصر غذایی(به‌خصوص نیتروژن، فسفر، کلسیم و منیزیم) یکی از اهداف مهم در مدیریت حاصلخیزی خاک است.

در حیوانات، از جمله انسان، پتاسیم نقش حیاتی در تنظیم نظام عصبی و حفظ رگ‌های خونی سالم ایفاء می‌کند. ثابت شده است که جیره‌ی غذایی شامل مواد غنی از پتاسیم مانند موز، سیب‌زمینی، آب‌پرتقال و سبزی‌های برگی خطر سکته و امراض قلبی را کاهش می‌دهند. حفظ تعادل بین پتاسیم و سدیم، به‌خصوص در جیره غذایی انسان‌ها مهم است.

علایم کمبود پتاسیم در نباتات

درمقایسه با کمبود فسفر و سایر عناصر غذایی، تشخیص کمبود پتاسیم در اکثر نباتات نسبتاً آسان است. علاوه بر خصوصیات مورد اشاره فوق‌الذکر (کاهش مقاومت به خشکسالی، افزایش ورس و...)علایم خاص برگی با کمبود پتاسیم همراه می‌باشد. چون پتاسیم در داخل نبات بسیار پویاست، اگر عرضه‌ی آن ناکافی باشد از برگ‌های پیر به برگ‌های جوان انتقال یافته، بنابراین، علایم کمبود معمولاً زودتر از همه و با حداکثر شدت در برگ‌های پیر صورت می‌گیرد.

به‌طور کلی با شروع کمبود پتاسیم نوک و حاشیه پیرترین برگ‌ها شروع به زردشدن می‌کند (کلروز) سپس خشک شده، می‌میرد(نکروز)[3]. بنابراین به‌نظر می‌رسد حاشیه برگ‌ها سوخته شده است(شکل۲۵-۱۴). در بعضی از نباتات، لبه‌ی برگ‌های نکروزشده ممکن‌است پاره گشته و به برگ ظاهری خشن بدهد (شکل ۲۵-۱۴ج)، در بعضی از گیاهان علوفه‌ای و گونه‌های نیام‌دار در کشت‌های پوششی[4] سبب تولید نقطه‌های کوچک سفید نکروتیک گردیده که یک حالت شاخص را در حاشیه برگچه‌ها تشکیل می‌دهد. این علامت قابل‌تشخیص آسان را اغلب مردم با خسارات حشرات اشتباه می‌گیرند (شکل۲۵-۱۴را مشاهده کنید).

کمبود پتاسیم را نباید با خسارت حاصل از شوری زیاد اشتباه نمود، که آن نیز می‌تواند سبب ایجاد حاشیه‌ای قهوه‌ای نکروتیک در برگ شود. خسارت ناشی از شوری بیشتر برگ‌های جدید را تحت تأثیر قرار می‌دهد (شکل ۱۳-۱۰ را مشاهده کنید).

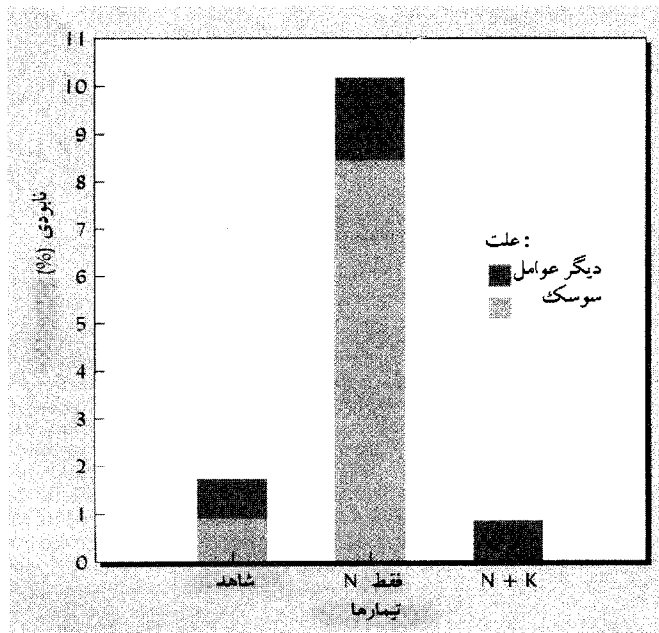
---

[1] -Integrated Pest Management (IPM)

[2]- در یک تحقیق مصرف ۲۲۴ کیلو نیتروژن در هکتار در کاج پندروسا سبب تشدید مرگ‌ومیر درخت براثر حمله‌ی سوسک به‌مقدار ۸ درصد، و مصرف همین مقدار پتاس سبب کاهش خسارت به یک درصد گردید

[3] -Necrosis

[4] -Legume cover crops برای پوشش دادن خاک در فصل آیش



شکل ۲۴-۱۴ تأثیر تیمارهای کود پتاسیم و کود نیتروژنی بر روی درصد مرگ‌ومیر درختان کاج پاندروزا به‌وسیله‌ی سوسک و سایر علل در چهار سال اول بعد از کشت آن‌ها در مونتانای غربی. نیتروژن مصرف شده به‌تنهایی (۲۲۴ کیلوگرم در هکتار) سبب افزایش زیاد مرگ‌ومیر شد. اما اضافه‌کردن پتاسیم(۲۲۴ کیلوگرم در هکتار) کاملاً باعث برعکس‌نمودن این اثر گردید. تیمار مرکب از هر دو کود سبب تشدید رشد درختان زنده گردید.

۱۲-۱۴ چرخه‌ی پتاسیم

شکل۲۶-۱۴، اشکال عمده‌ای را که در آن‌ها پتاسیم در خاک نگهداری گردیده، و تغییراتی را که در چرخه‌ی نظام گیاه و خاک به‌خود می‌گیرد نشان می‌دهد. منابع اصلی پتاسیم کانی‌های اولیه مانند میکا (بیوتیت و مسکویت) و فلدسپار پتاسیم(ارتوکلاز و میکروکلین) می‌باشند. وقتی این کانی‌ها دچار هوادیدگی می‌شوند. ساختار لایه‌ای آن‌ها نرم‌تر می‌گردد، برای مثال پتاسیم نگهداری شده در بین لایه‌های بلوری رس نوع ۱: ۲ میکا با گذشت زمان، بیشتر قابل‌استفاده می‌گردد، اول به‌صورت غیرقابل تبادل بوده اما به آهستگی به‌گونه‌ی اشکال قابل‌تبادل در لبه‌های هوادیده‌ی کانی‌ها، و نهایتاً به‌صورت اشکال دارای سهولت قابلیت تبادل و اشکال موجود در محلول خاک در آمده که در آن‌جا به‌وسیله‌ی ریشه نباتات برداشت می‌شود.

پتاسیم به‌مقدار زیاد به‌وسیله‌ی نبات جذب می‌شود. بسته به نوع بوم‌سامان مورد نظر، بخشی از این پتاسیم از برگ و بار نبات به‌وسیله‌ی آب باران (ریزش از داخل تاج پوشش) آبشویی شده و همراه با بخشی دیگر در پس‌ماندهای گیاهی به خاک باز می‌گردد. در بوم‌سامان‌های طبیعی، اکثر پتاسیم جذب و یا به‌صورت فضولات (عمدتاً ادرار) از حیواناتی که از نبات تغذیه می‌کنند به خاک باز می‌گردد. بخشی از پتاسیم همراه با ذرات خاک فرسایش یافته شده و یا در داخل رواناب از دسترس خارج شده و بخشی دیگر براثر آبشویی به‌داخل آب‌های زیرزمینی از دست می‌رود. در بوم‌سامان‌های کشاورزی از ۵/۱ (در دانه‌ی غلات) تا تقریباً تمام پتاسیم جذب‌شده (نباتات علوفه‌ای) به‌وسیله‌ی نبات ممکن‌است به بازارهای دورتر حمل گردد که امکان برگشت آن‌ها فراهم نیست.

در هر زمان، بیشتر پتاسیم در کانی‌های اولیه و اشکال غیرقابل تبادل قرار دارد. در خاک‌های نسبتاً حاصلخیز، ممکن است آزادشدن پتاسیم از این اشکال به اشکال قابل‌تبادل و محلول خاک (که نبات می‌تواند مستقیماً مورد استفاده قرار دهد) به‌اندازه کافی سریع بوده و سبب تأمین پتاسیم کافی برای رشد بهینه‌ی محصول باشد. از طرف دیگر وقتی عملکرد زیادی از محصولات زراعی و یا مقدار چوب زیادی از اراضی برداشت می‌شود، و یا در محل‌هایی که میزان کانی‌های حاوی پتاسیم قابل‌هوادیدگی اندک است، میزان پتاسیم قابل‌تبادل و محلول باید از منابع خارجی مانند کودهای شیمیایی، کود مرغی و خاکستر چوب تأمین گردد. بدون اضافه‌کردن کود، خاک‌ها از پتاسیم قابل‌استفاده در طول سال‌ها تخلیه گردیده و توان تولید خاک نیز به‌همین ترتیب کاهش خواهد یافت.

مثالی از تخلیه و ذخیره‌سازی مجدد پتاسیم قابل‌استفاده در شکل۲۷-۱۴ آمده است. کشت‌وکار بدون مصرف کود شیمیایی در طول یک قرن سبب تخلیه پتاسیم قابل‌تبادل در یک خاک شنی در نیویورک گردید بعد از تخلیه پتاسیم قابل‌تبادل اراضی در دهه‌ی ۱۹۲۰ رها شدند. در دهه‌های ۱۹۲۰ و ۱۹۳۰ یک جنگل کاج قرمز کشت گردید. درختان در بعضی از کرت‌ها با کود پتاسیم مورد اصلاح قرار گرفتند و این‌کار سبب بازیافت سریع پتاسیم قابل‌تبادل به میزان اولیه قبل از شروع کشاورزی در این خاک‌ها، همان‌طورکه انتظار می‌رفت، گردید. در جاهایی که حتی به درختان کودشیمیایی داده نشده بود، میزان پتاسیم قابل‌تبادل در خاک سطحی دوباره، اما با آهنگی کُند درطول ۸۰سال جبران‌گردید.

جبران مجدد پتاسیم قابل‌تبادل در کرت‌های مختلف جنگل کودنخورده نمونه‌ای از توانایی گیاهان دائمی برداشت‌نشده مانند جنگل و نیام‌داران مرتعی را در بهبود حاصلخیزی خاک طی زمان به‌دست می‌دهد. گیاهان چندساله با ریشه‌ی عمیق اغلب همانند تلمبه‌های تخلیه‌ی عناصر غذایی از خاک عمل می‌کنند، پتاسیم را از افق‌های عمیق خاک تحت‌الارضی به‌داخل نظام ریشه خود جذب کرده، آن‌ها را به برگ‌ها منتقل نموده، و سپس در بازچرخ مجدد از طریق ریزش برگ‌ها و آبشویی باران به سطح خاک بر می‌گرداند (بخش ۴-۱۶ را مشاهده کنید).



(ب)



(الف)



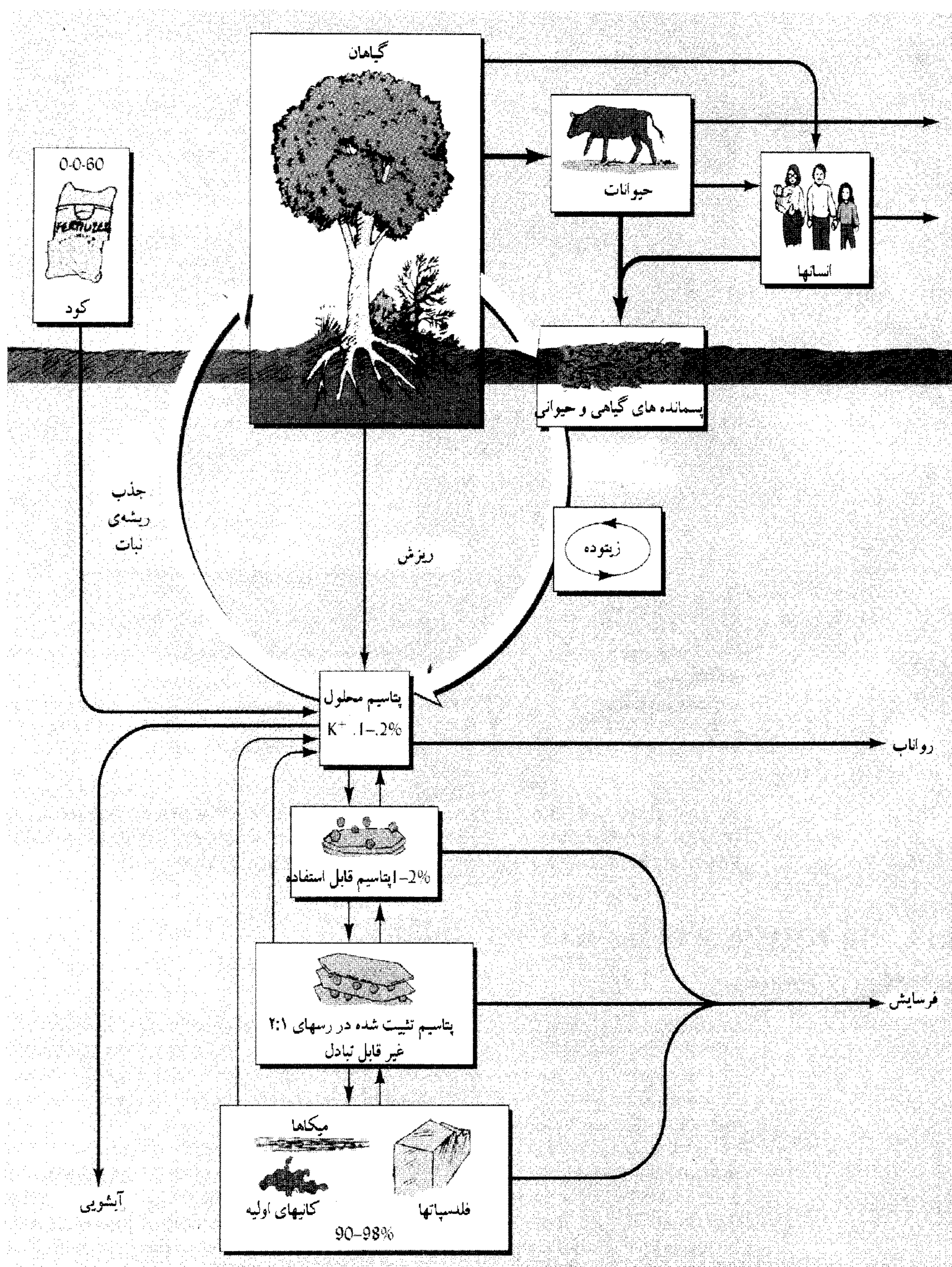
(د)



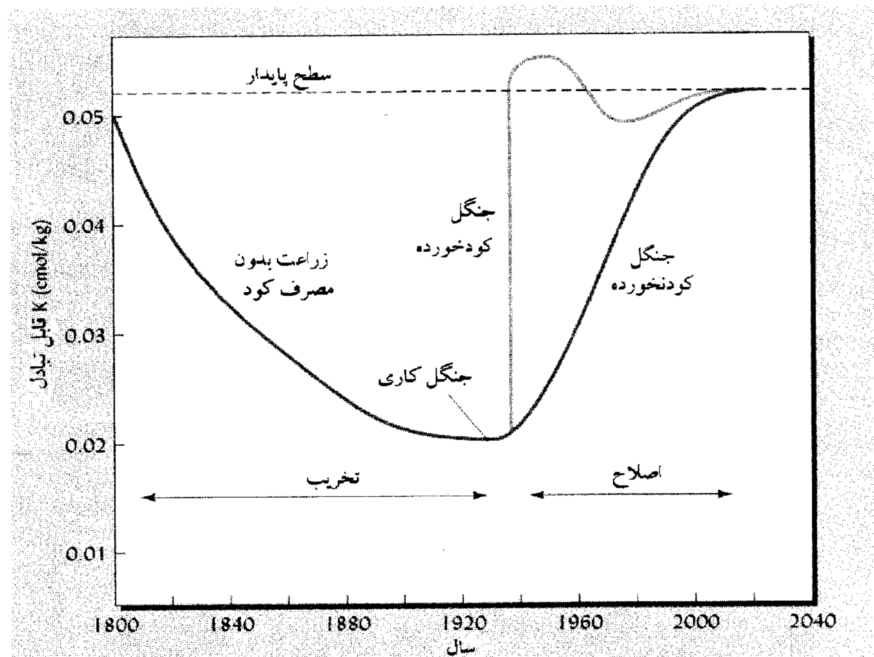
(ج)

شکل۲۵-۱۴ کمبود پتاسیم معمولا سبب تولید علایم برگی به‌راحتی قابل‌تشخیص برروی برگ‌های قدیمی می‌شود. الف) برگ بـا حاشیه‌هـای زرد برروی شمشاد، ب)حاشیه‌های زرد برگ در سویا، ج)حاشیه‌های بریده‌شده خشک‌شده در برگ‌های پیر موز، د) نقطه خشک سفید کوچک در روی برگچه‌های خلر

در اکثر بوم‌سامان‌های کامل، بیش از هدررفت اندک (۱ تا ۵ کیلوگرم در هکتار) سالانه پتاسیم بـه‌وسـیله‌ی آبـشویی و فرسـایش براثـر هوادیدگی پتاسیم از کانی‌های اولیه و اشکال غیرقابل تبادل در خاکرخ جبران و به‌وسیله‌ی جابه‌جایی به‌وسیله‌ی پوشش گیاهی به سـطح آورده می‌شوند. در اکثر نظام‌های کشاورزی هدررفت ناشی از آبشویی بسیار بیشتر است، زیرا مقادیر پتاسیم قابل‌تبادل زیادتری معمولاً بـرای تولیـد محصول در خاک حفظ می‌گردد، اما ریشه‌های نبات فقط برای قسمتی از سال فعال می‌باشند. بخش‌های بعد جزییات بیشتری را از واکنش‌های موجود در مورد چرخه‌ی پتاسیم ارائه می‌دهند.



شکل ۲۶-۱۴ اجزای اصلی چرخه‌ی پتاسیم در خاک‌ها، دایره‌ی داخلی بر چرخه‌ی زیستی پتاسیم از محلول خاک به گیاهان و برگشت به خاک از طریق پس‌ماندهای گیاهی و یا فضولات حیوانی تأکید دارد. کانی‌های اولیه و ثانویه منابع اصلی این عنصر در خاک می‌باشند. پتاسیم قابل‌تعویض شامل یون‌هایی می‌باشد که به‌وسیله‌ی کلوییدهای رس و هموس نگهداری و آزاد می‌شوند، اما پتاسیم یک جزء ساختمانی از هموس خاک نیست. تعامل بین پتاسیم محلول، قابل‌تبادل، غیرقابل تبادل و ساختمانی در کانی‌های اولیه نشان داده شده است. حجم اصلی پتاسیم در کانی‌های اولیه و ثانویه قرار داشته و براثر فرایند هوادیدگی آزاد می‌شود.



شکل ۲۷-۱۴ شیوه کلی تخلیه‌ی پتاس قابل‌تبادل افق A طی دهه‌ها انجام کشاورزی بدون استعمال کود پتاس، ذخیره‌سازی مجدد به‌وسیله‌ی پوشش جنگلی. جنگل شامل کاج قرمز بود که بر سری خاک Plain field با بافت شن لومی Udipsamment در ایالت نیویورک آمریکا کشت گردید. این خاک دارای ظرفیت بسیار پایین تبادل کاتیونی و پتاسیم قابل‌تبادل اندکی می‌باشد.

۱۳ – ۱۴ مسأله‌ی پتاسیم در حاصلخیزی خاک

قابلیت استفاده‌ی پتاسیم

برخلاف فسفر، پتاسیم در مقادیر نسبتاً بالایی در اکثر خاک‌های معدنی، به‌استثنای خاک‌هایی که عمدتاً از کوارتز تشکیل شده‌اند، یافت می‌شود. در واقع، مقدار کل این عنصر معمولاً بیشتر از هر عنصر غذایی اصلی دیگر می‌باشد. مقادیری در حد ۳۵۰۰۰ تا ۵۵۰۰۰ کیلوگرم در عمق شخم یک هکتار خاک زراعی، به‌هیچ‌وجه غیرمعمول نیست (جدول ۳-۱).

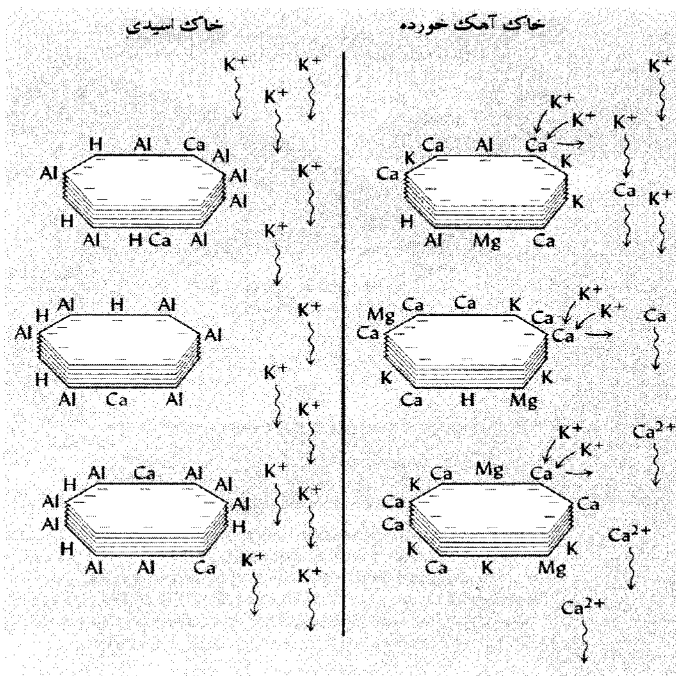
گرچه مقدار پتاسیم نگهداری‌شده در شرایط آسان قابل‌تبادل در هر زمان خاص اغلب بسیار اندک است. اکثر این عنصر به‌طور محکم به‌صورت بخشی از کانی‌های اولیه، نگهداری شده و یا در اشکالی تثبیت شده‌اند که در بهترین حالت از نظر قابلیت استفاده نبات در حد متوسط می‌باشند. بنابراین، شرایط استفاده از پتاسیم حداقل از یک نظر هم‌سو با فسفر و نیتروژن است: بخش بسیار بزرگی از تمام این سه عنصر در خاک‌ها غیرمحلول بوده و برای رشد نبات نسبتاً غیرقابل استفاده می‌باشند.

هدررفت حاصل از آبشویی

پتاسیم بسیار آسان‌تر از فسفر براثر آبشویی از دسترس خارج می‌شود. شیرابه‌ی خاک‌هایی که مقدار زیادی کود شیمیایی دریافت می‌دارند دارای مقادیر قابل‌ملاحظه‌ای پتاسیم می‌باشند. هدررفت سالانه‌ی پتاسیم براثر آبشویی در خاک‌های شاخص در مناطق مرطوب، که در آن‌ها گیاهان یک‌ساله کشت شده و میزان متوسطی کود شیمیایی دریافت می‌دارند، حدود ۲۵ تا ۵۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. ارقام هدررفت بیشتر در خاک‌های شنی اسیدی معمول است. وقتی آبشویی پتاسیم با جذب یون‌های پتاسیم دارای بار مثبت به‌وسیله‌ی محل‌های تبادل دارای بارمنفی بر روی سطوح هموس و رس کاهش پیدا نکند، هدررفت بدون شک بیشتر خواهد شد. آهک‌دادن یک خاک اسیدی برای بالابردن pH می‌تواند هدررفت پتاسیم را به‌خاطر اثر یون مکمل[1] کاهش دهد (فصل هشتم و شکل ۲۸-۱۴ را مشاهده کنید). سهولت جداشدن یون‌ها از همتافت تبادل در میان عناصر مختلف متفاوتست. یون‌های سه‌ظرفیتی آلومینیوم (Al^{3+}) به‌طور شاخص از یون‌های دوظرفیتی (Mg^{2+} Ca^{2+}) محکم‌تر نگهداری شده‌اند. در خاک آهک‌خورده که مقادیر بالاتری از کاتیون‌های کلسیم و منیزیم وجود دارند، پتاسیم یک‌ظرفیتی بهتر قادر است که

[1] -Complementary Ion effect

آن‌ها را از همتافت تبادل جایگزین کند. وقتی مقادیر بالاتری از آلومینیوم قابل‌تبادل همتافت تعادلی را اشباع کرده است، پتاسیم کمتر احتمال جذب‌شدن دارد. بنابراین در یک خاک آهک‌خورده K^+ می‌تواند آسان‌تر برروی همتافت تبادل نگهداری شود، و آبشویی آن کاهش می‌یابد.



شکل ۲۸-۱۴ تشریح نموداری که چگونه آهک‌دادن یک خاک اسیدی می‌تواند آبشویی پتاسیم را کاهش دهد. این واقعیت که یون‌های K^+ می‌توانند با سهولت هرچه بیشتر یون‌های Ca^{2+} را درمقایسه با یون‌های Al^{3+} جایگزین سازند امکان می‌دهد که مقدار بیشتری یون‌های K^+ از محلولی که آهک داده شده است (مقدار کلسیم بیشتر) به‌وسیله‌ی تبادل کاتیونی خارج گردد. خارج‌شدن یون K^+ از محلول به‌وسیله‌ی جذب بر روی کلوییدها سبب کاهش هدررفت آن‌ها در فرایند آبشویی می‌شود، اما آن‌ها حداقل در این حالت دارای قابلیت استفاده متوسط برای جذب به‌وسیله‌ی گیاه می‌باشند.

جذب گیاهی و برداشت به‌وسیله‌ی عملکرد

گیاهان مقادیر زیادی پتاسیم جذب می‌کنند، که اغلب ۵ تا ۱۰ برابر فسفر و درحدود میزان نیتروژن می‌باشد. اگر اکثر یا تمام قسمت‌های گیاه برروی زمین براثر درو برداشت گردد، میزان تخلیه منابع تأمین پتاسیم خاک می‌تواند بسیار زیاد باشد. برای مثال، عملکرد ۶۰ تن در هکتار ذرت سیلویی ممکن‌است ۱۶۰ کیلوگرم درهکتار پتاسیم برداشت کند. برداشت الوار از جنگل به‌طور معمول حدود ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم برداشت می‌کند. اگر تمام درخت برداشت‌شده قطعه‌قطعه شده و برای صنعت کاغذسازی مصرف گردد، در آن‌صورت برداشت پتاسیم ممکن است دو برابر شود. یک نبات علوفه‌ای نیام‌دار با عملکرد بالا ممکن است سالانه ۴۰۰ کیلو پتاس از خاک برداشت کند.

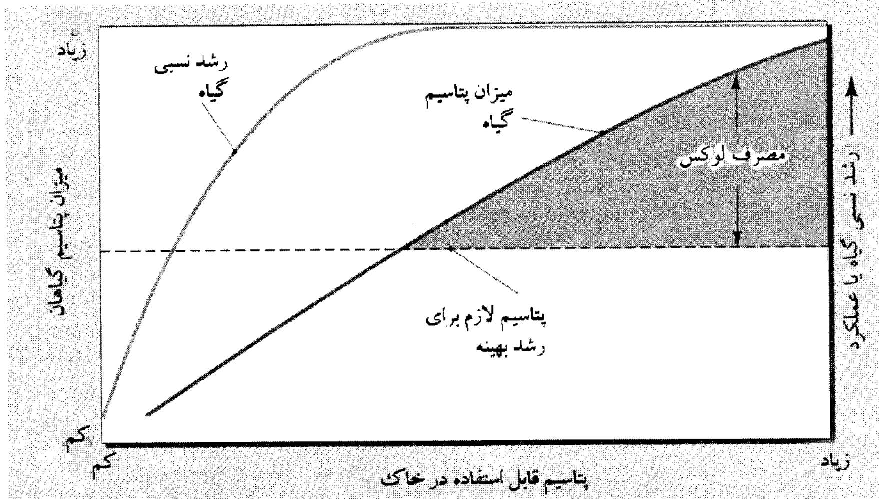
مصرف غیرضروری (جذب تجملی)[1]

تمایل نباتات برای جذب پتاسیم محلول فراتر از نیازهای آن‌ها، درصورت وجود مقادیر زیاد پتاسیم، هدررفت آن‌را بسیار حادتر می‌سازد. این تمایل به‌مصرف خارج از نیاز، مصرف لوکس یا غیرضروری نامیده می‌شود، زیرا پتاسیم اضافی جذب‌شده، عملکرد نبات را به‌هیچ‌وجه بالا نمی‌برد.

اصول موجود در مصرف غیرضروری به‌وسیله‌ی نمودار در شکل ۲۹-۱۴ نشان داده شده است. در بسیاری از نباتات، رابطه مستقیمی بین پتاسیم قابل‌استفاده (مجموع پتاسیم خاک و پتاسیم کود) و برداشت این عنصر به‌وسیله‌ی گیاهان از خاک موجود است. گرچه یک مقدار مشخص از این عنصر برای رشد لازم است که آن‌را پتاسیم موردنیاز[2] گویند، پتاسیم جذب‌شده به‌وسیله‌ی نبات بالاتر از حد بحرانی موردنیاز مصرف غیرضروری و یا لوکس نامیده می‌شود. اگر پس‌ماندهای گیاهی به خاک بازگردانده نشوند، برداشت این پتاسیم اضافی به‌طور قطع هدررفت تلقی خواهد شد. به‌علاوه، مقادیر زیاد پتاسیم ممکن جذب کلسیم را محدود کرده و سبب عدم تعادل غذایی در گیاهان و حیواناتی گردند که آن‌ها را مصرف می‌کنند.

خلاصه این‌که مسأله پتاسیم دارای سه جنبه است:(۱) بخش بسیار بزرگی از پتاسیم خاک برای گیاهان عالی نسبتاً غیرقابل استفاده می‌باشند، (۲)پتاسیم در معرض هدررفت ناشی از آبشویی قرار می‌گیرد، (۳) برداشت پتاسیم به‌وسیله‌ی نبات زیاد است، به‌خصوص اگر مقادیر غیرضروری برای جذب این عنصر تأمین گردد. با این سوابق و زمینه‌ها، چهره‌های مختلف پتاسیم و در دسترس‌بودن آن‌ها در خاک‌ها مورد بازبینی قرار خواهد گرفت.

[1] -Luxury Consumption
[2] -Required Potassium



شکل ۲۹-۱۴ رابطه‌ی کلی بین مقدار پتاسیم قابل‌استفاده خاک، رشد نبات و جذب پتاسیم به‌وسیله‌ی نبات. اگر پتاسیم قابل‌استفاده در خاک بالاتر از مقداری باشد که برای حداکثر رشد لازم است، بسیاری از نباتات به افزایش جذب پتاسیم بدون هرگونه افزایش رشد ادامه می‌دهند. جذب پتاسیم اضافه بر مقدار پتاسیم لازم برای رشد بهینه مصرف غیرضروری (جذب تجملی) خوانده می‌شود. این مصرف غیرضروری اگر نبات به‌طور کامل از خاک برداشت شود، اتلاف پتاسیم بوده و ممکن است سبب عدم تعادل در جیره غذایی حیوانات چراکننده گردد.

۱۴- ۱۴ اشکال و قابلیت استفاده‌ی پتاسیم در خاک‌ها

در نمودار چرخه‌ی پتاسیم ۴ شکل عمده‌ی پتاسیم خاک نشان داده شده است (شکل۲۶-۱۴). این اشکال به ترتیب از پایین به بالا عبارتند از: ۱) پتاسیم موجود در ساختمان بلوری کانی‌های اولیه ۲) پتاسیم موجود در موقعیت‌های غیرتبادلی (تثبیت‌شده) در کانی‌های ثانویه ۳) پتاسیم در شکل قابل‌تبادل بر روی سطوح کلوییدهای خاک ۴) یون‌های پتاسیم محلول در آب. مقدار کل پتاسیم در یک خاک، و توزیع پتاسیم در بین این چهار منبع اصلی که در شکل ۲۶-۱۴ نشان داده شده است، عمدتاً تابع نوع کانی رسی موجود در خاک است. خاک‌هایی که رس‌های نوع۲:۱ در آن‌ها غالب است معمولاً دارای حداکثر پتاسیم و خاک‌هایی که رس کائولینیت در آن‌ها غالب باشد کمترین مقدار پتاسیم را دارا می‌باشند(جدول۸-۱۴). از نظر قابلیت استفاده برای جذب نبات تفسیر زیر درمورد اشکال مختلف پتاسیم کاربرد دارد.

پتاسیم موجود درکانی‌های اولیه غیرقابل استفاده	پتاسیم قابل‌تبادل برروی سطوح کلوییدخاک به آسانی قابل‌استفاده
پتاسیم غیرقابل تبادل درکانی‌های ثانویه به کُندی قابل‌استفاده	پتاسیم محلول در آب به آسانی قابل‌استفاده

جدول ۸-۱۴ اثر رس‌های غالب بر پتاسیم محلول در آب، قابل‌تبادل و تثبیت شده(غیرقابل تبادل)و کل پتاسیم در خاک (ارقام ارائه شده میانگین بسیاری از خاک‌ها در ۱۰ رده خاک در آمریکا و پورتریکو می‌باشد)

منبع پتاسیم	کانی‌شناسی غالب خاک		
	کائولینیت(۲۶ نمونه)	مخلوط (۵۳ نمونه)	رس اسمکتیت (۲۳ نمونه)
	میلی‌گرم در کیلوگرم خاک		
پتاسیم کل	۳۳۴۰	۸۹۲۰	۱۵۷۸۰
پتاسیم قابل‌تبادل	۴۵	۲۲۴	۱۸۳
پتاسیم محلول در آب	۲	۵	۴

تمام گیاهان می‌توانند اشکال به‌آسانی قابل‌استفاده را مصرف کنند اما توانایی برای به‌دست‌آوردن پتاسیم نگهداری شده در اشکال دارای کندی قابلیت استفاده و غیرقابل استفاده در میان گونه‌های نباتی متفاوت است. بسیاری از گندمیان با نظام ریشه‌های ظریف افشان خود قادرند

که پتاسیم نگهداری شده در بین لایه‌های رس و در نزدیکی لبه بلورهای میکا و فلدسپات در اندازه رس و لای حذف کنند. تعداد محدودی از نباتات مانند علف فیل *Pennisetum purpureum scham* که در خاک‌های شنی با حاصلخیزی کم‌سازگار می‌باشند قادرند پتاسیم را از کانی‌های اولیه حتی در اندازه شن (شکلی از پتاسیم که معمولاً به‌عنوان غیرقابل استفاده مورد نظر می‌باشد) به‌دست آورند.

اشکال پتاسیم نسبتاً غیرقابل استفاده

۹۸-۹۰ درصد کل پتاسیم خاک در یک خاک معدنی در اشکال تقریباً غیرقابل استفاده قرار دارد (شکل ۲۶-۱۴). ترکیبات شامل این اشکال پتاسیم فلدسپات‌ها و میکاها می‌باشند. این کانی‌ها به هوادیدگی کاملاً مقاوم بوده و مقادیر نسبتاً کمی پتاسیم در یک فصل زراعی به‌خصوص تأمین می‌کنند. هرچند آزادشدن تجمعی پتاسیم از آن‌ها درطول سال‌ها بدون‌شک تا حدی اهمیت دارد. این آزادشدن تحت تأثیر عمل حل‌کردن اسیدکربنیک و اسیدهای قوی‌تر آلی و معدنی، و همچنین رس‌های اسیدی و هموس صورت می‌گیرد (بخش ۳-۲ را مشاهده کنید). همان‌طورکه قبلاً اشاره رفت، ریشه‌ی بعضی از نباتات می‌تواند بخش قابل‌توجهی از پتاسیم موردنیاز خود را از این کانی‌ها، با خارج‌ساختن یون‌های پتاسیم محلول در اطراف لبه کانی‌ها و آماده‌ساختن شرایط انحلال کانی، به‌دست آورند.

اشکال پتاسیم به‌آسانی قابل‌استفاده

فقط حدود ۲-۱ درصد پتاسیم کل خاک به آسانی قابل‌استفاده است، پتاسیم قابل‌استفاده در خاک‌ها در دو شکل موجود می‌باشند: ۱)در داخل محلول خاک و۲)پتاسیم قابل‌تبادل جذب شده بر روی سطوح کلوییدهای خاک. گرچه بیشترین مقدار این اشکال پتاسیم، در شکل قابل‌تبادل است (حدوداً ۹۰ درصد)، پتاسیم محلول خاک به‌آسانی هرچه‌بیشتر به‌وسیله‌ی گیاهان عالی جذب می‌شود، اما متأسفانه در معرض هدررفت ناشی از آبشویی قرار می‌گیرد.

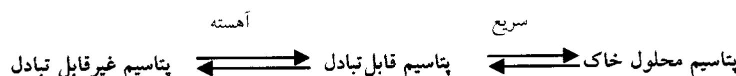
همان‌طورکه در شکل۲۶-۱۴ آمده است، این دو شکل پتاسیم دارای قابلیت استفاده‌ی آسان در یک تعادل پویا می‌باشند. این تعادل دارای اهمیت عملی فوق‌العاده زیادی است. وقتی گیاهان پتاسیم را از محلول خاک جذب می‌کنند، بخشی از پتاسیم قابل‌تبادل بلافاصله به‌داخل محلول خاک حرکت می‌کند تا آن‌که تعادل مجدداً برقرار گردد. وقتی کودهای شیمیایی محلول در آب اضافه شوند، محلول خاک از پتاسیم غنی‌شده و عکس عمل فوق صورت می‌پذیرد. یعنی پتاسیم از محلول خاک بر روی همتافت تبادل حرکت می‌کند. پتاسیم قابل‌تبادل می‌تواند به‌صورت یک سازوکار پشتیبان برای پتاسیم محلول خاک مورد نظر قرار گیرد.

اشکال پتاسیم به‌کندی قابل‌استفاده

با حضور کانی‌های ورمی‌کولیت، اسمکتیت، و سایر کانی‌های نوع ۲:۱ یون‌های K^+ موجود (و همین‌طور یون‌های NH_4^+ هم‌اندازه با K^+) در محلول خاک (و یا اضافه‌شده به‌صورت کود شیمیایی) نه‌تنها جذب شده بلکه به‌وسیله‌ی کلوییدهای خاک به‌طور مشخص، تثبیت می‌شوند (شکل ۳۰-۱۴). یون‌های پتاسیم (و یون‌های آمونیوم) با فضای بین‌لایه‌ای بلورهای رس قابل‌انبساط معمولی تناسب داشته و به بخشی از بلور تبدیل می‌گردند. این یون‌ها نمی‌توانند با فرایندهای معمولی تبادل جایگزین گردند، و بنابراین، به آن‌ها یون‌های غیرقابل تبادل گفته می‌شود، بدین‌ترتیب آن‌ها به‌آسانی برای اکثر گیاهان عالی قابل‌استفاده نمی‌باشند. این شکل پتاسیم با اشکال دارای قابلیت استفاده آسان بیشتر در تعادل بوده و بنابراین همانند یک منبع مهم از عناصر غذایی به‌کندی قابل‌استفاده عمل می‌کنند (شکل ۳۱-۱۴).

آزادشدن پتاسیم تثبیت‌شده

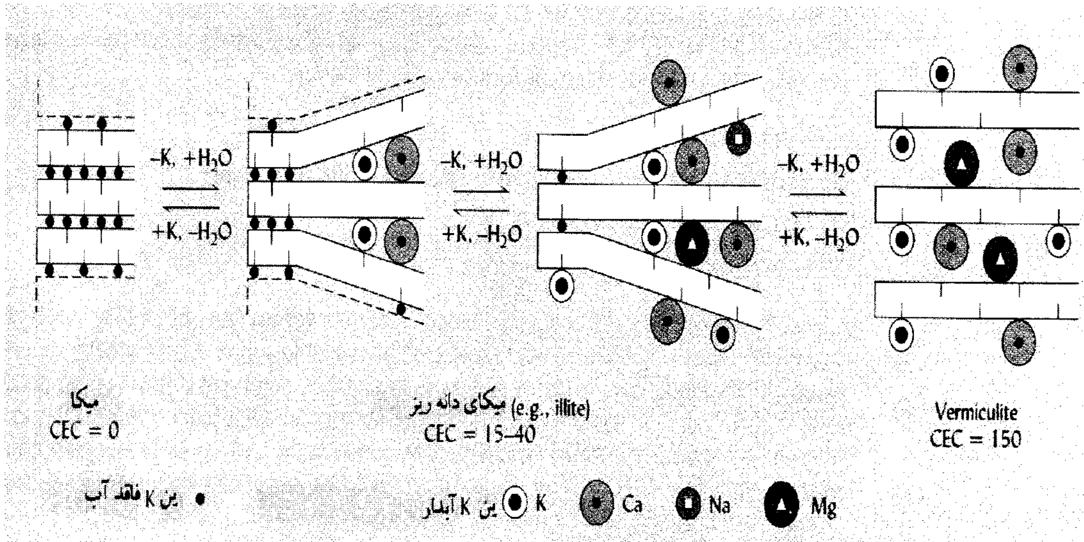
مقدار پتاسیم غیرقابل تبادل و یا تثبیت‌شده در بعضی از خاک‌ها کاملاً زیاد است. پتاسیم تثبیت‌شده در این خاک‌ها به‌طور مداوم به‌صورت قابل‌تبادل در مقادیر کاملاً زیاد، که دارای اهمیت عملی فراوانی می‌باشند آزاد می‌شوند. اطلاعات جدول (۹-۱۴) اهمیت آزادشدن پتاسیم غیرقابل تبادل را در خاک‌های خاص معلوم می‌کند. در این خاک‌ها، پتاسیم برداشت‌شده به‌وسیله‌ی گیاهان به‌طور عمده از اشکال غیرقابل تبادل تأمین شده است. تعادل کلی ممکن است برای پتاسیم به‌صورت زیر بیان گردد:



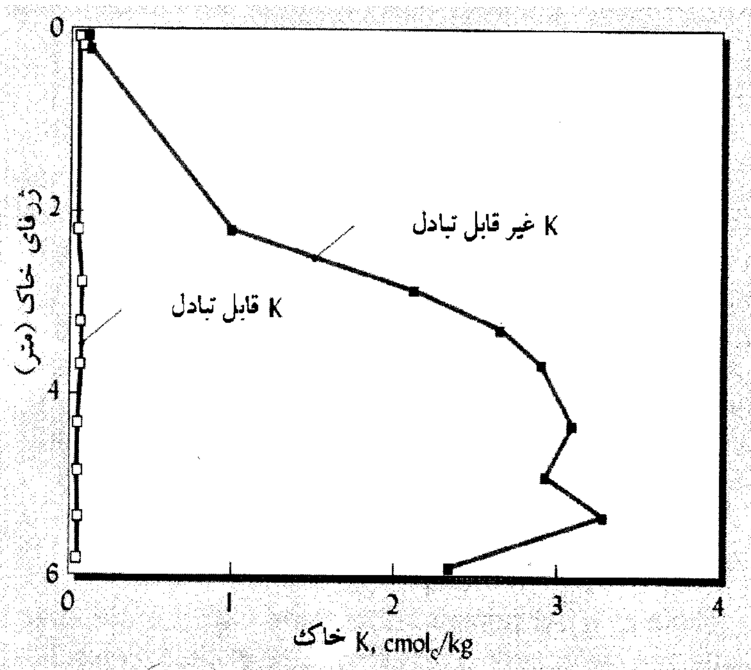
با توجه به نتیجه‌ی رابطه فوق خاک‌های خیلی شنی باCEC پایین در ارتباط با پتاسیم دارای پشتیبانی[1] ضعیفی می‌باشند. ممکن است غلظت ین پتاسیم در ابتدای فصل رشد و یا درست بعد از کوددادن کاملاً بالا باشد، اما گیاهان پتاسیم حل‌شده در محلول خاک را در طول

[1] -Baffering

فصل رشد برداشت می‌کنند. این خاک‌ها دارای ظرفیت اندکی برای حفظ غلظت پتاسیم بوده و ممکن است کمبود پتاسیم در آخر فصل حاصل گردد. در خاک‌های بافت ریز باCEC بیشتر (و بنابراین ظرفیت پشتیبانی بیشتر) ممکن است غلظت اولیه پتاسیم محلول تا حدی پایین باشد، اما خاک قادر است تأمین یون پتاسیم محلول را در سرتاسر فصل رشد به‌طور کاملاً پایدار حفظ کند.



شکل ۳۰-۱۴ تشریح نموداری آزادشدن و تثبیت پتاسیم بین کانی‌های اولیه، میکای دانه‌ریز (رس ایلیت)، و ورمی‌کولیت. در نمودار آزادشدن پتاسیم به‌طرف راست پیش می‌رود درحالی‌که فرایند تثبیت به‌سوی چپ پیش می‌رود. توجه کنید که یون پتاسیم آب از دست داده بسیار کوچک‌تر از یون‌های آبدار Na^+، Ca^{2+} و غیره می‌باشد. بنابراین وقتی پتاسیم به خاکی که دارای کانی‌های نوع ۲:۱ مانند ورمی‌کولیت است داده شود، واکنش ممکن است به سمت چپ پیش رود و یون‌های پتاسیم به‌شدت در بین لایه‌ها در داخل بلور تثبیت شده و یک ساختمان میکای بافت زیر را ایجاد کند. یون‌های آمونیوم دارای اندازه و بار مشابه یون پتاسیم بوده و ممکن است به‌وسیله‌ی واکنش مشابه تثبیت گردند.



شکل ۳۱-۱۴ میزان پتاسیم قابل‌تبادل و غیرقابل‌تبادل در خاک التی‌سول در کارولینای جنوبی پس از ۳۰ سال کشت کاج لابلالی به‌دنبال ۱۵۰ سال کشت‌وکار. اگر چه میزان پتاسیم قابل‌تبادل کاملا پایین بود، رشد درختان به‌طور منفی تحت تأثیر قرار نگرفت و مقادیر زیادی از این عنصر به‌وسیله‌ی درختان در طول ۳۰ سال برداشت گردید. این امر با تبدیل پتاسیم غیرقابل‌تبادل به شکل قابل‌تبادل بود که به‌آسانی به‌وسیله‌ی نبات جذب گردید. افق‌های بالایی ممکن است تا حدی از پتاسیم قابل‌تبادل تخلیه شده باشد، اما ریشه عمیق درختان قادر بود که پتاسیم آزادشده را از شکل غیرقابل تبادل افق‌های زیر مورد استفاده قرار دهد.

جدول ۹-۱۴ پتاسیم برداشت‌شده با زراعت بسیار متمرکز و مقدار این عنصر که از شکل غیرقابل‌تبادل پتاسیم به‌دست می‌آید

خاک	کل پتاسیم مصرف‌شده به‌وسیله‌ی نبات kg/ha	درصد پتاسیم حاصل از شکل غیرقابل‌تبادل
خاک‌های ایالت ویسکانسین		
لوم سیلتی کارینگتون	۱۳۳	۷۵
لوم سیلتی اسپنسر	۶۶	۸۰
شن پلانیفیلد	۹۹	۲۵
خاک‌های می‌سی‌سی‌پی		
لوم سیلتی ریز روبنیسون‌ویل	۱۲۱	۳۳
رس هیوستون	۶۴	۴۷
لوم شنی روستون	۴۷	۲۴

۱۵-۱۴ عوامل مؤثر در تثبیت پتاسیم در خاک‌ها

چهار نوع شرایط خاک به‌طور چشم‌گیری در مقدار پتاسیم تثبیت‌شده مؤثر می‌باشند که عبارتند از: ۱- سرشت کلوییدهای خاک ۲-خشک و مرطوب‌شدن خاک۳- یخ‌بستن و ذوب یخ ۴-وجود آهک به‌تعداد زیاد

تأثیر نوع رس و رطوبت

توانایی کلوییدهای مختلف خاک در تثبیت پتاسیم بسیار متفاوتست. کائولینیت و دیگر رس‌های نوع ۱:۱ پتاسیم اندکی را تثبیت می‌کنند. از طرف دیگر رس‌های نوع ۲:۱ مانند ورمی‌کولیت، میکای بافت ریز(ایلیت) و اسمکتیت پتاسیم را بسیار به‌آسانی و به‌مقدار زیاد تثبیت می‌کنند. بخش‌هایی، حتی در اندازه لای در بعضی از کانی‌های میکا سبب تثبیت و سپس آزادشدن پتاسیم می‌گردند.

یون‌های پتاسیم و آمونیوم در بین لایه‌های بلوری‌های رسی دارای بار منفی جذب می‌شوند. بیشترین تمایل برای جذب در کانی‌هایی موجود است که بخش عمده بار منفی در صفحه سیلیس (چهاروجهی) قرار دارد. بنابراین ورمی‌کولیت دارای ظرفیت بیشتری از مونت‌موریلونیت برای تثبیت پتاسیم و آمونیوم می‌باشد (جدول۵-۸ را برای فرمول این کانی‌ها مشاهده کنید).

مشخص شده است که تناوب خشک‌شدن-ترشدن و یا یخ زدن و ذوب یخ هم سبب تثبیت پتاسیم در اشکال غیرقابل تبادل و همین‌طور آزادشدن پتاسیم ازقبل تثبیت‌شده به محلول خاک می‌گردد. گرچه اهمیت عملی این فرایند مورد تشخیص قرار گرفته اما سازوکار آن هنوز به‌خوبی معلوم نشده است.

تأثیر pH

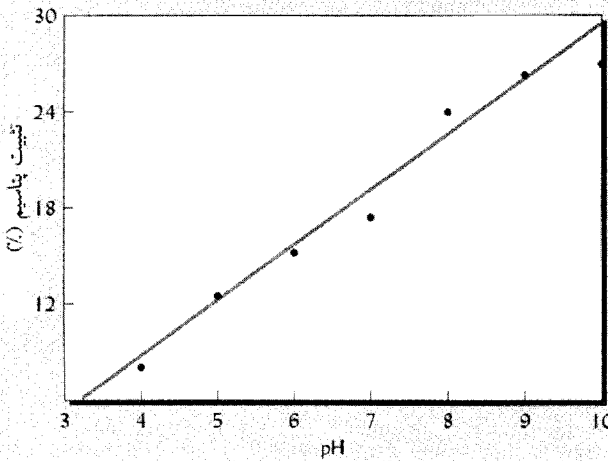
مصرف آهک بعضی مواقع سبب تثبیت پتاسیم در خاک‌ها می‌شود (شکل۳۲-۱۴). همان‌طورکه قبلاً نیز اشاره رفت، این امر تعجب‌آور نیست زیرا در خاک‌ها دارای اسیدیته قوی ین‌های H^+ و Al^{3+} هیدراته از اشتراک نزدیک یون‌های پتاسیم با سطح کلویید ممانعت نموده و حساسیت آن‌ها را به تثبیت کاهش می‌دهند. با افزایش PH یون‌های H^+ و Al^{3+} هیدراته جدا شده و یا خنثی می‌شوند و برای ین پتاسیم جابه‌جایی به نزدیک سطوح کلوییدی آسان‌تر گردیده و در آن‌جا حساسیت به تثبیت در رس‌های نوع۲:۱ افزایش می‌یابد.

در خاک‌هایی که بار منفی کلویید وابسته به pH است، آهک‌دادن سبب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، و درنتیجه، افزایش جذب پتاسیم به‌وسیله‌ی کلوییدها و کاهش میزان پتاسیم در محلول می‌شود (شکل۳۳-۱۴).

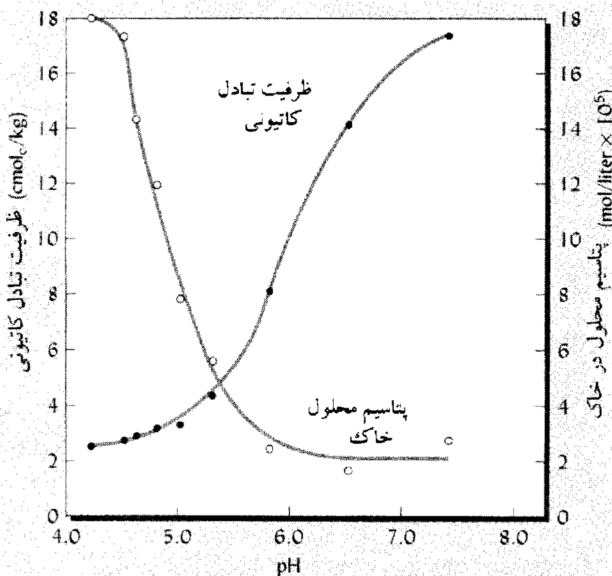
به‌علاوه ممکن است وجود مقدار زیاد یون‌های کلسیم و منیزیم در محلول خاک جذب پتاسیم را به‌وسیله‌ی نبات کاهش دهد. زیرا این کاتیون‌ها تمایل دارند که برای جذب‌شدن به‌وسیله‌ی ریشه‌ها با همدیگر رقابت کنند. از آن‌جاکه جذب یون پتاسیم به‌وسیله‌ی ریشه نبات تحت تأثیر فعالیت سایر یون‌ها در محلول خاک است، بعضی از صاحب‌نظران ترجیح می‌دهند که برای تعیین میزان پتاسیم قابل‌استفاده در محلول به‌جای غلظت پتاسیم محلول از نسبت زیر استفاده کنند.

$$\frac{[K^+]}{\sqrt{[Ca^{2+}]+[Mg^{2+}]}}$$

نهایتاً، کمبود پتاسیم اغلب در خاک‌های آهکی صورت می‌گیرد حتی وقتی که مقدار پتاسیم قابل‌تبادل موجود در حد بسندگی آن برای تغذیه‌ی نبات در سایر خاک‌ها باشد. ممکن است تثبیت پتاسیم و همین‌طور نسبت کاتیون‌ها دلیل این اثرات منفی در خاک‌های غنی از کربنات کلسیم باشد.



شکل ۳۲-۱۴ تأثیر pH بر تثبیت پتاسیم در خاک‌های هندوستان



شکل ۳۳-۱۴ تأثیر افزایش pH ناشی از مصرف آهک بر ظرفیت تبادل کاتیونی وابسته به pH و میزان پتاسیم در محلول خاک. با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، بخشی از پتاسیم محلول خاک جذب کلوییدهای تثبیت‌کننده می‌شوند.

۱۶-۱۴ جنبه‌های عملی مدیریت پتاسیم خاک

مسأله‌ی حاصلخیزی پتاسیم، به غیراز خاک‌های خیلی شنی در رابطه با پتاسیم کل خاک نبوده اما در ارتباطی خوب با میزان تغییرشکل از اشکال غیرقابل استفاده می‌باشند. وقتی مقدار برداشت گیاهی اندک است (جنگل‌ها، مراتع و بعضی سامانه‌های زینتی)، چرخه‌ی پتاسیم دربین خاک و نبات برای تداوم رشد نبات کافی می‌باشد. هرچند هنگام برداشت محصول، به‌خصوص اگر پس‌ماندهای گیاهی برگشتی به خاک اندک باشد، آن‌گاه چرخه‌ی پتاسیم در نظام گیاه خاک باید به‌وسیله‌ی آزادشدن مقداری پتاسیم از اشکال معدنی با قابلیت استفاده کمتر، و تا حدی، با کوددادن کامل گردد.

رشد سریع نباتات حاوی پتاسیم زیاد تقاضای بالایی را برای تأمین پتاسیم قابل‌استفاده مطرح می‌کند. هرچند میزان جذب پتاسیم ثابت نبوده و با مرحله رشد نبات و فصل تغییر می‌کند. اگر عملکرد زیادی در نیام‌داران علوفه‌ای مانند یونجه مورد انتظار است، خاک باید قادر باشد پتاسیم مورد نیاز را برای میزان‌های جذب زیاد، در طول دوره‌های خاص تأمین کند، و درنتیجه نیاز به مصرف کود، حتی در خاک‌هایی که دارای مقادیر زیاد کانی‌ها با قابلیت هوادیدگی است زیاد می‌باشد. هرچند برای حفظ سلامت انسان و دام از مقادیر زیاد پتاسیم که سبب کاهش کلسیم و منیزیم در گیاهان علوفه‌ای می‌گردند، باید اجتناب کرد.

تکرار دفعات مصرف کود

اگرچه مصرف سنگین کود هرچند سال یک‌بار آسان‌ترین روش تأمین پتاسیم است، اما تکرار در دفعات مصرف سبک دارای مزایای کاستن مصرف افزون بر نیاز پتاسیم در بعضی نباتات، کاهش هدررفت براثر آبشویی و کاستن فرصت تثبیت در اشکال غیرقابل استفاده قبل از امکان استفاده گیاه از کود مصرف شده می‌باشد. اگر چه این تثبیت دارای چهره‌های حفاظتی خاص است. در اکثر موارد نفع آن کمتر از ضرر حاصل از آبشویی و یا مصرف لوکس می‌باشد.

توان تأمین پتاسیم به‌وسیله‌ی خاک‌ها

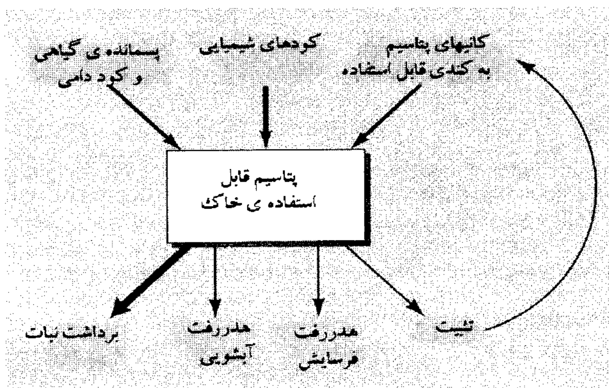
از توان تأمین پتاسیم خاک‌ها باید بهره کامل گرفته شود. ممکن است این باور که هر کیلوگرم پتاس برداشت شده به‌وسیله‌ی نبات و یا آبشویی شده باید از طریق مصرف کود به‌خاک بازگردد همیشه درست نباشد. در بسیاری از خاک‌ها مقادیر زیادی از اشکال دارای قابلیت استفاده متوسط موجود قبلی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند، بنابراین فقط بخشی از کل پتاس مصرف‌شده براثر برداشت محصول نیاز به جبران به‌وسیله‌ی کود شیمیایی دارد. به‌علاوه از اهمیت مصرف آهک در کاهش هدررفت پتاسیم ناشی از آبشویی به‌عنوان وسیله‌ای برای استفاده از توان خاک‌ها در تأمین این عنصر نباید چشم‌پوشی کرد.

در خاک‌های مناطق خشک، کانی‌های حاوی پتاسیم قابل‌هوادیدگی به‌خوبی تأمین شده است و بنابراین، می‌توانند پتاسیم کافی را برای سال‌های متمادی، حتی در خاک‌های تحت آبیاری که آبشویی پتاس خیلی مهم و برداشت نبات خیلی بالاست به‌خوبی عرضه کنند. گرچه برداشت مرتب نبات می‌تواند سبب تخلیه‌ی منابع قابل‌استفاده پتاسیم حتی در این خاک‌ها گردد. همچنین ممکن است گیاهان دارای ریشه‌ی عمیق مانند پنبه و درختان میوه برای تأمین بیشتر پتاسیم مورد نیاز خود به خاک تحت‌الارض متکی باشند. افزایش قابلیت استفاده‌ی این عنصر در اعماق پایین‌تر از شخم مشکل می‌باشد.

دست‌آورد و هدررفت پتاسیم

مسأله‌ی حفظ پتاسیم خاک به‌طور نموداری در شکل ۳۴-۱۴ آمده است. برداشت پتاسیم به‌وسیله‌ی نبات معمولاً از سایر عناصر غذایی اصلی، احتمالاً به‌استثنای نیتروژن فزون‌تر است. هدررفت سالانه براثر برداشت نبات تا حد ۴۰۰ کیلوگرم پتاسیم یا بیشتر غیرعادی نیست، به‌خصوص اگر نبات نیام‌دار بوده و چندین چین برداشت گردد. همان‌طورکه انتظار می‌رود، برگرداندن پس‌ماندهای گیاهی و کود دامی در حفظ پتاسیم خاک بسیار با اهمیت می‌باشد.

هدررفت سالانه‌ی پتاسیم قابل‌استفاده براثر آبشویی و فرسایش به مراتب از نیتروژن و فسفر فزون‌تر است. هرچند این تلفات درمقایسه به‌اندازه‌ی تلفات مشابه کلسیم و منیزیم نمی‌باشد. چنین تلفات عناصر غذایی، اثرات جدی بر توان تولید پایدار خاک دارد.



شکل ۳۴-۱۴ دست‌آورد و هدررفت پتاسیم قابل‌استفاده خاک درتحت شرایط متوسط مزرعه. بزرگی تقریبی تغییرات به‌وسیله‌ی ضخامت پیکان‌ها نشان داده شده است. برای هر مورد خاص بدون شک ممکن است مقدار واقعی پتاسیم افزوده و یا تلف شده ازاین نمونه به‌طورقابل ملاحظه‌ای متفاوت باشد. همان‌طورکه درمورد نیتروژن و فسفر نیز گفته شد، کودهای شیمیایی در برآورد نیازهای گیاهی بسیار مهم می‌باشند.

استفاده بیشتر از کودهای پتاسه

استفاده‌ی بیشتر از کودهای پتاسه در مقیاس جهانی با خالی‌شدن انبارهای پتاسیم قابل‌استفاده خاک و برآورده نشدن انتظارات افزایش عملکرد محصولات تنها با هوادیدگی کانی‌های خاک همچنان تداوم خواهد یافت. در مناطق با کشت‌های نقدی[1] و در اراضی با خاک‌های شنی و یا خاک‌های خیلی هوازده این مسأله به‌خصوص صادق است. شکل ۱-۱۴ نشان می‌دهد که زارعین در آمریکا استفاده از کود پتاسیم را در طول سال‌های زیادی تا سال ۱۹۸۰ افزایش دادند، تا جایی که توان عرضه پتاسیم خاک‌ها (به‌طور متوسط) به سطحی رسید که فقط

---

[1] -Cash Crop

اضافه‌کردن کود درحد حفظ نگهداری این توان موردنیاز بود. این سطح نگهداری در بسیاری از مناطق حداقل نصف سطح برداشت متوسط پتاسیم است (جبران نصف دیگر برداشت به‌وسیله‌ی پتاسیم آزادشده از معدنی‌شدن کانی‌ها انجام می‌شود). در مناطق کشاورزی کمتر توسعه‌یافته‌ی جهان مصرف کود پتاسه در طول بسیاری از سال‌های آتی برای افزایش و یا حفظ عملکرد فعلی باید افزایش یابد.

۱۷-۱۴ نتیجه‌گیری نهایی

فسفر خاک یک شمشیر دولبه است، مدیریت آن از نقطه‌نظر محیط‌زیست و حاصلخیزی خاک فوق‌العاده مهم می‌باشد. از یک طرف فسفر خیلی کم معمولاً سبب محدودیت توان تولید بوم‌سامان‌های طبیعی و کشاورزی و تخریب گسترده‌ی خاک و محیط خواهد شد. اما از طرف دیگر کشاورزی صنعتی سبب تمرکز فسفر بسیار زیادی در بعضی موارد شده است که هدررفت آن از خاک‌ها سبب غنی‌شدن شدید در آب‌های سطحی بوده است. بعضی از این موقعیت‌ها به‌علت تجمع فسفر خاک براثر مصرف کودهای شیمیایی و بعضی دیگر درنتیجه تمرکز تولیدات حیوانی بوده است، به‌طوری‌که فسفر موجود در کود دامی در بسیاری از دامداری‌ها بسیار بیشتر از مصرف در اراضی زارعی نزدیک این دامداری‌ها می‌باشد.

به‌جز در مواردی که فسفر در خاک تجمع پیدا کرده است قابلیت استفاده آن برای ریشه نبات با دو مشکل همراه است. سطح پایین فسفر کل، و درصد اندک قابلیت استفاده این فسفر. به‌علاوه، درصورت اضافه‌کردن فسفات‌های محلول به خاک، آن‌ها به‌سرعت به اشکال غیرمحلول تبدیل شده و در آن‌وقت برای نباتات درحال‌رشد غیرقابل‌استفاده می‌باشد. در خاک‌های اسیدی فسفر عمدتاً به‌وسیله‌ی آهن، آلومینیوم و منگنز و در خاک‌های قلیایی به‌وسیله‌ی کلسیم و منیزیم تثبیت می‌شود. این تثبیت سبب کاهش شدید کارآیی کود شیمیایی فسفره گردیده و مقدار اندکی از فسفر مصرف‌شده جذب نبات می‌گردد. این فسفر استفاده‌نشده طی زمان در خاک تجمع یافته و به‌عنوان مخزن ذخیره برای جذب گیاه عمل خواهد کرد.

مقدار پتاسیم معمولا در خاک‌ها فراوان است، اما آن نیز، در اشکالی می‌باشد که برای جذب نبات کاملاً غیرقابل استفاده است. هرچند، خوشبختانه، بعضی از خاک‌ها دارای مقادیر زیادی اشکال غیرقابل تبادل اما به آرامی قابل‌استفاده از این عنصر می‌باشند. با گذشت زمان، این پتاسیم می‌تواند به‌صورت اشکال قابل‌تبادل و محلول در آب درآید که می‌تواند به‌سرعت به‌وسیله‌ی ریشه نبات جذب گردد. این جای خوشبختی است، زیرا نیازهای نبات برای پتاسیم بالاست و ۵ تا ۱۰ برابر فسفر و مشابه نیتروژن می‌باشد.

سووالات برای مطالعه

۱- شما یاد گرفتید که نیتروژن، پتاسیم و فسفر همگی در خاک تثبیت می‌شوند، این فرایندهای تثبیت را باهم مقایسه کرده و مزایا و محدودیت‌های هر یک را بیان کنید.

۲- فرض‌کنید که شما یک کود فسفاته محلول را در یک اکسی‌سول و یک اریدی‌سول مصرف‌کرده‌اید. درهرمورد، طی چند ماه اکثر فسفر به اشکال غیرقابل‌استفاده تبدیل شده است. مشخص کنید این اشکال کدام‌ها هستند، و ترکیبات موجود درهر خاک برای تبدیل آن‌ها چه بوده است.

۳- میزان فسفر اراضی زراعی درمقایسه با خاک‌های جنگلی نزدیک آن‌ها در آمریکا، که هرگز قطع کامل نشده‌اند چگونه است. دلیل این اختلاف چیست؟

۴- منظور از غنی‌شدن (Eutrophication) چیست و چگونه تحت عملیات زراعی از جمله مصرف فسفر، تحت تأثیر قرار خواهد گرفت؟

۵- کدام‌یک از خاک‌های لوم و رسی دارای ظرفیت بافری بالاتری از نظر فسفر و پتاسیم می‌باشد؟ توضیح دهید.

۶- در بهار یک خاک سطحی دارای آزمون خاکی بدین‌شرح بود: پتاسیم محلول خاک ۲۰ kg/ha، پتاسیم قابل‌تبادل ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار. بعد از برداشت دو چین علف یونجه که دارای ۲۵۰ کیلوگرم پتاسیم بود آزمون دوم نشان داد که پتاسیم محلول ۱۵ kg/ha و پتاسیم قابل‌تبادل ۱۵۰ kg/ha می‌باشد توضیح دهید چرا کاهش بیشتری در پتاسیم محلول و قابل‌تبادل به‌وجود نیامد.

۷- اثر pH خاک بر قابلیت استفاده فسفر چیست و اشکال غیرقابل استفاده در سطوح مختلف pH کدام می‌باشند.

۸- مصرف افزون بر نیاز عناصر غذایی چیست و مزایا و مشکلات آن‌را بیان کنید.

۹- چگونه فسفری که ترکیبات معدنی نامحلول در خاک ایجاد می‌کند. نهایتاً به جویبارها و سایر آبراهه‌ها راه خواهد یافت؟

۱۰- مخلوط‌کردن کلش زیاد گندم در خاک سبب کاهش فسفر در کشت‌های بعدی خواهد شد. دلیل احتمالی آن کدام است.

۱۱- مقادیر فسفر آلی را در لایه‌های فوقانی یک خاک جنگلی با خاک نزدیک آن که برای ۲۵ سال در آن کشت‌وکار می‌شود مقایسه کرده و تفاوت آن‌ها را تشریح نمایید.

نگاه کن، آن‌را خواهی یافت
آن‌چه یافت می‌نشود، در فکر نگنجد.
سوفوکل

فصل ۱۵

عناصر کم‌مصرف

از ۱۸ عنصر اساسی که در رشد نبات مشخص شده‌اند. ۹ عنصر در مقادیر اندک مورد نیاز می‌باشند که به آن‌ها عناصر کم‌مصرف[1] یا عناصر نادر اطلاق می‌گردد.این عناصر عبارتند از آهن، منگنز، روی، مس، بر، مولیبدون، نیکل، کبالت وکلر. به‌نظر می‌رسد که سایر عناصر مانند سیلیس، واندیم و سدیم حداقل سبب بهبود رشد بعضی از گونه‌های نباتی گردند. حیوانات از جمله انسان‌ها، به اکثر این عناصر غذایی در جیره‌ی غذایی خود نیازمندند. بعضی از عناصر مانند سلنیم، کرم، قلع، ید و فلور مشخص شده‌اند که برای رشد حیوانات اساسی بوده، اما ظاهراً مورد نیاز نباتات نمی‌باشند.

از واژه‌گان عناصر کم‌مصرف و عناصر کم‌یاب نباید استنباط کرد که این عناصر از عناصر پرمصرف کمتر اهمیت دارند، برعکس، اثرات کمبود این عناصر از نظر محدودکردن رشد، عملکرد پایین و حتی مرگ نبات می‌تواند خیلی شدیدتر باشد. ممکن است مصرف مقادیر اندک از عناصر کم‌مصرف نتایج شگرفی به‌بار آورد.

توجه روبه‌فزونی به کمبود عناصر کم‌مصرف به دلایل چندی معطوف گردیده که عبارتند از :

۱- عملیات پرنهاده‌ی تولید[2]، سبب افزایش عملکرد نبات و برداشت هرچه بیشتر عناصر کم‌مصرف از خاک شده است.

۲- روند استفاده از کود شیمیایی با درصد بالایی از عناصر غذایی مشخص، استفاده از مواد ناخالص و کود دامی را که قبلاً بخش قابل‌توجهی از عناصر کم‌مصرف را دربرداشتند کاهش داده است.

۳- دانش بیشتر در مورد تغذیه‌ی نبات و روش‌های پیشرفته تجزیه در آزمایشگاه در تشخیص کمبود عناصر کم‌مصرف، که قبلاً از آن بی‌خبر بودیم به ما کمک کرده است.

۴- شواهد بیشتر حاکی از این است که محصولات غذایی به‌دست‌آمده بر روی خاک‌هایی که دارای مقادیر کمی عناصر کم‌مصرف هستند، ممکن‌است سطح تغذیه‌ی ناکافی را برای انسان درمورد عناصر خاص فراهم‌آورند، گرچه ممکن‌است نبات خود علایم کمبود را ظاهر نسازد.

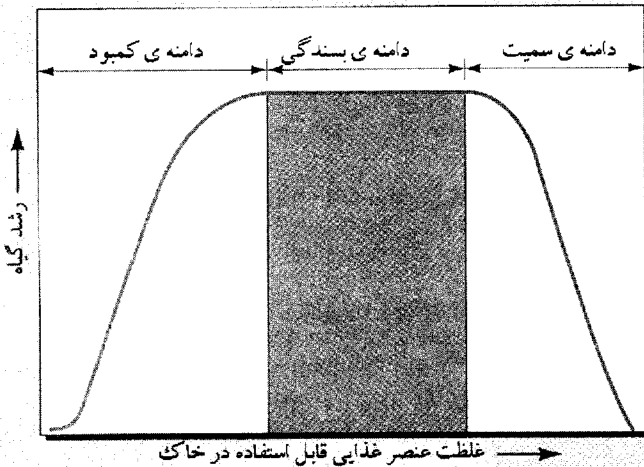
عناصر کم‌مصرف، همچنین به‌خاطر مسائل سمیت حاصل از عرضه‌ی بیش‌ازحد آن‌ها موردتوجه قرار گرفته‌اند، میزان سمیت عناصر کم‌مصرف برای گیاهان و یا حیوانات ممکن است ناشی از شرایط طبیعی خاک، آلودگی و یا عملیات مدیریت خاک باشد.

این فصل بعضی از سوابق و روش‌های موردنیاز را برای تشخیص و برخورد با کمبودها و سمیت‌های مختلف که در دامنه‌ی گسترده‌ای از سامانه‌های خاک-گیاه با آن مواجه می‌باشیم، فراهم می‌نماید.

۱-۱۵ کمبود در مقابل سمیت

بدیهی است، هرچیزی که بیش از میزان کافی جذب گردد، می‌تواند سمی باشد. در مقادیر اندک یک عنصر غذایی، کمبود و کاهش رشد گیاهی ممکن است صورت پذیرد(دامنه کمبود)[3]. وقتی مقدار عنصر غذایی افزایش یابد گیاهان با جذب عناصر غذایی بیشتر و افزایش رشد به‌خوبی عکس‌العمل نشان می‌دهند تا این‌که به سطح قابلیت استفاده یک عنصر که برای برآورد نیازهای گیاه مورد نظر کافی باشد (دامنه کفایت)[4] دسترسی یابیم، افزایش بیشتر از آن سطح اثر اندکی بر رشد نبات دارد گرچه عنصر ممکن‌است در اندام‌های نباتی به افزایش خود ادامه دهد. در بعضی از سطوح قابلیت استفاده، گیاه عناصر غذایی بیشتری را از آن‌چه لازم دارد جذب می‌کند(دامنه سمیت)[5]، و سبب بروز واکنش‌های فیزیولوژیکی منفی خواهد شد رابطه بین این سطوح سه‌گانه در شکل ۱- ۱۵ آمده است.

1- Trace elements
2- Intensive crop production
3- Deficiency
4- Sufficency range
5- Toxicity range



شکل ۱-۱۵ رابطه‌ی بین مقدار یک عنصر کم‌مصرف قابل‌استفاده برای جذب نبات و رشد گیاه. در دامنه‌ی کمبود با افزایش قابلیت استفاده عنصر، رشد نیز افزایش می‌یابد (جذب نیز افزایش می‌یابد). در دامنه‌ی کفایت گیاهان می‌توانند تمام عنصر موردنیاز خود را دریافت دارند و بنابراین رشد آن‌ها کمتر تحت تأثیر تغییرات در این دامنه قرار می‌گیرد. در مقادیر بالاتر، قابلیت استفاده با عبور از یک آستانه وارد دامنه‌ی سمیت می‌گردد که در آن، مقدار عناصر غذایی موجود، بیش از مقدار لازم بوده و سبب واکنش‌های فیزیولوژیکی منفی شده و منجر به کاهش رشد و حتی مرگ نبات می‌گردد.

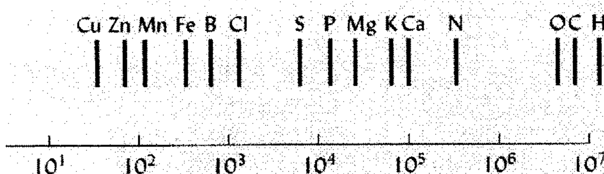
برای عناصر پرمصرف، دامنه کفایت بسیار گسترده‌تر بوده و سمیت به‌ندرت پیش می‌آید. هرچند ممکن‌است در عناصر کم‌مصرف اختلاف بین سطوح کمبود و سمیت خیلی باریک بوده و امکان ایجاد سمیت را کاملاً عملی سازد. برای نمونه، درمورد بر و مولیبدون، سمیت شدید ممکن‌است با مصرف ۴~۳ کیلوگرم از عناصر قابل‌استفاده در خاکی که ابتدا کمبود این عنصر را داشته است حاصل آید. سمیت مس و روی در خاک‌هایی که با لجن صنعتی، پس‌مانده‌های ذوب فلزات آلوده شده، و یا در آن‌ها قارچ‌کش سولفات مس به مدت زیاد مصرف گردیده، مشاهده شده است.

ممکن است مقدار زیاد مولیبدون به‌طور طبیعی در خاک‌های قلیایی خاص با زه‌کشی ضعیف تجمع یابد. در بعضی موارد ممکن است مقدار کافی از این عنصر برای ایجاد سمیت نه‌تنها در گیاهان حساس، بلکه در علوفه‌ی مورد چرای احشام در این اراضی به‌وسیله‌ی نبات جذب گردد. ممکن است بُر نیز به‌طور طبیعی در خاک‌های قلیایی در مقادیری چنان بالا یافت شود که سمیت در نبات را سبب گردد. اگرچه مقادیر بیشتری از سایر عناصر کم‌مصرف لازم است و می‌تواند به‌وسیله‌ی نبات تحمل گردد احتیاط بیشتری در مصرف عناصر کم‌مصرف به‌خصوص برای تعادل عناصر غذایی باید معمول داشت.

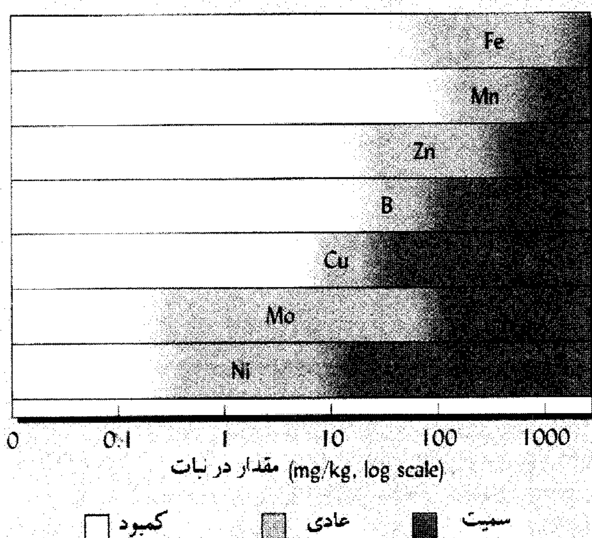
ممکن است آب آبیاری در مناطق خشک دارای مقادیر کافی بر، مولیبدون و سلنیم (عنصری کم‌مصرف که به‌نظر نمی‌رسد عنصر غذایی موردنیاز نبات باشد) محلول برای ایجاد خسارت در نباتات حساس باشد، اگرچه ممکن‌است میزان اولیه این عناصر در خاک خیلی زیاد نباشد، بنابراین شرط احتیاط این‌است که میزان این عناصر در آب موردمصرف آبیاری موردنظارت قرار گیرد (بخش ۸-۱۰را مشاهده کنید).

به‌نظر نمی‌رسد سلنیم در سوخت‌وساز گیاهی اساسی باشد، اما برای حیوانات لازم است. ناتوانی‌هایی مانند عضله‌ی سفید گاوها (White muscle) ناشی از علوفه دارای کمبود سلنیم می‌باشد. به‌علاوه، سمیت سلنیم در خاک‌های غرب آمریکا و دیگر مناطق جهان که دارای سلنیم زیادند سبب نارسایی نبود تعادل (Blind staggers) و حتی مرگ می‌شود.

عناصر کم‌مصرف در مقادیر خیلی اندک مورد نیازند، غلظت آن‌ها در بافت‌های گیاهی ده‌برابر تا چندده‌برابر کمتر از عناصر پرمصرف است (شکل ۲-۱۵). دامنه‌ی غلظت بافت‌های گیاهی به‌صورت کمبود، کفایت و سمیت برای چندین عنصر کم‌مصرف در شکل۳-۱۵ تشریح شده است.



شکل ۲-۱۵ تعداد نسبی اتم‌های عناصر غذایی اساسی در یونجه در مرحله‌ی گلدهی، که به‌صورت لگاریتمی تشریح شده است. توجه داشته باشید که بیشتر از ۱۰ میلیون اتم هیدروژن درمقابل هر اتم مولیبدن وجود دارد. با وصف این رشد طبیعی نبات بدون وجود مولیبدن صورت نمی‌گیرد.



شکل ۳-۱۵ سطوح کمبود، کفایت و سمیت در گیاهان برای ۷ عنصر کم‌مصرف. توجه نمایید که دامنه‌ی نشان‌داده شده در مقیاس لگاریتمی بوده و حد فوقانی برای منگنز حدوداً ۱۰ هزار برابر حد پایین برای مولیبدن و نیکل می‌باشد. در استفاده از این شکل، به اختلافات زیاد در توانایی گونه‌های مختلف گیاهی و ارقام آن‌ها در تجمع و تحمل سطوح مختلف عناصر کم‌مصرف توجه داشته باشید.

۲-۱۵ نقش عناصر کم‌مصرف

نقش فیزیولوژیک

نقش عناصر کم‌مصرف در تغذیه‌ی نباتات بسیار پیچیده است درحالی‌که اکثر عناصر کم‌مصرف در اعمال تعدادی از نظام‌های آنزیمی دخالت دارند (جدول ۱-۱۵)، تغییرات قابل‌توجهی در نقش ویژه هر کدام از عناصر کم‌مصرف در فرایند رشد نباتات و ریزجانداران موجود است. برای نمونه، مس، آهن، مولیبدن قادر هستند که به‌عنوان حامل‌های الکترون در نظام آنزیمی، که واکنش‌های اکسایش و احیا را در نباتات به‌وجود می‌آورند، عمل می‌کنند. این واکنش‌ها در سوخت‌وساز نوری و بسیاری از فرایندهای سوخت‌وساز جزء مراحل اساسی می‌باشند. روی و منگنز در بسیاری از نظام‌های آنزیمی گیاهی به‌عنوان پل ارتباطی آنزیم با ماده‌ای که قرار است بر روی آن واکنش ایجاد کند، ایفای نقش می‌کنند.

مولیبدن و منگنز برای تغییرشکل خاص نیتروژن در ریزجانداران، و همین‌طور گیاهان لازم می‌باشند. مولیبدن و آهن از اجزاء آنزیم نیتروژناز[1] که برای فرایندهای تثبیت همزیست و غیرهمزیست نیتروژن اساسی است، می‌باشند، مولیبدن همچنین در آنزیم نیترات ریداکتاز[2] که مسوول احیای نیترات در خاک‌ها و نباتات است حضور دارد.

نیکل اخیراً به فهرست عناصری که نشان داده‌اند برای گیاهان عالی اساسی می‌باشند اضافه شده است، این عنصر برای ایفای نقش آنزیم‌های متعدد، ازجمله اوراز[3]، که سبب شکسته‌شدن اوره به آمونیاک و گازکربنیک می‌شود اساسی است. کمبود نیکل سبب تراکم اوره در مقادیر سمی در برگ‌های نیامداران می‌شود. بذور غلات دارای کمبود نیکل فاقد حیات بوده و جوانه نمی‌زنند.

روی در ساختن پروتیین، تشکیل بعضی از هورمون‌های رشد و فرایند تکثیر در بعضی نباتات نقش دارد. مس در هر دو فرایند سوخت‌وساز نوری و تنفس و مصرف آهن نیز شرکت داشته و همچنین سبب تقویت لیگنینی‌شدن دیواره یاخته می‌شود. نقش بر هنوز به روشنی معلوم نیست، اما به‌نظر می‌رسد که در تقسیم یاخته، جذب آب و جابه‌جایی قند در گیاهان شرکت داشته باشد. آهن در تشکیل و تخریب سبزینه و ساختن پروتیین و اسید نوکلییک دخیل است. به‌نظر می‌رسد منگنز که برای سوخت‌وساز نوری و سوخت‌وساز نیتروژن اساسی باشد.

نقش کلر هنوز تا حدی مبهم است، گرچه از نظر تأثیر در سوخت‌وساز نوری و رشد ریشه شناخته شده است. کبالت برای تثبیت همزیست نیتروژن اساسی می‌باشد، به‌علاوه نیامداران و سایر گیاهان نیازمند تأمین کبالت جدا از تثبیت نیتروژن می‌باشند، اگرچه مقدار لازم درمقایسه با مقدار مورد نیاز در تثبیت اندک است.

---

[1]- Nitrogenase
[2]- Nitrate reductase
[3]- Urease

علایم کمبود

عرضه‌ی ناکافی عناصر غذایی اغلب به‌صورت علایم مشخص قابل‌مشاهده در نباتات تظاهر می‌کند، که بعضی از آن‌ها به‌عنوان شاخصی از کمبود عناصر خاص مورد استفاده می‌باشند. اغلب عناصر کم‌مصرف در نباتات نسبتاً غیرمتحرک می‌باشند، و این بدان معناست که نبات نمی‌تواند به‌طوری مؤثر عنصر غذایی را از برگ‌های پیرتر به برگ‌های جوان‌تر انتقال دهد. بنابراین، در برگ‌های جوان به دنبال کاهش عنصر غذایی ایجاد شده‌اند، غلظت عنصر کمترین و علایم کمبود برجسته‌ترین می‌باشد. برگ‌های ذرت خوشه‌ای دارای کمبود آهن در تابلو ۲۹ رنگی و ذرت و هلوی دارای کمبود روی در تابلو ۳۰ و ۳۱ بیانگر شیوه‌ی برجسته علایم کمبود در برگ‌های جوان است.

کمبود روی در ذرت در نوارهای عریض سفید در هر دو طرف رگبرگ اصلی در بوته‌های جوان شاخص می‌باشد. اما ممکن است با گرم‌شدن خاک و توسعه نظام ریشه‌ها در گیاهان بالغ به داخل حجم بزرگی از خاک علایم کمبود ناپدید گردند. زردی بین رگبرگ‌ها (رگبرگ‌های سبز تیره و مناطق زرد روشن بین رگبرگ‌ها) در برگ‌های جوان و پیچیدن برگ‌های کوچک در انتهای شاخه (علامتی که برگ کوچولو[1] نامیده می‌شود) شاخص برگ‌های درختان مواجه با کمبود روی می‌باشند.

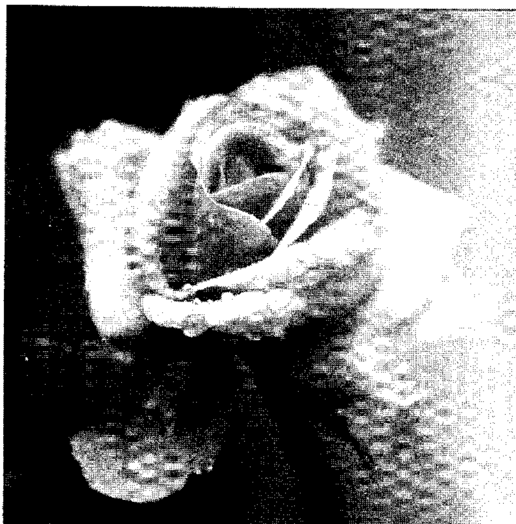
کمبود بر معمولاً در نقاط درحال رشد، مانند جوانه‌ها، میوه‌ها، و گل‌ها، و نوک ریشه مؤثر است، در گیاهان دارای بر اندک ممکن است که گل‌ها تغییرشکل داده (کله گاوی[2] در گل سرخ- شکل ۴-۱۵)، بذرهای سقط جنین شده، برگ‌های ضخیم شکننده و چروک دار، نقاط درحال‌رشد مرده را تولید کنند(شکل ۵-۱۵). یک‌بار مصرف اندک بر درزمان مناسب سبب ایجاد تفاوت در بازارپسندی محصول خواهدشد.

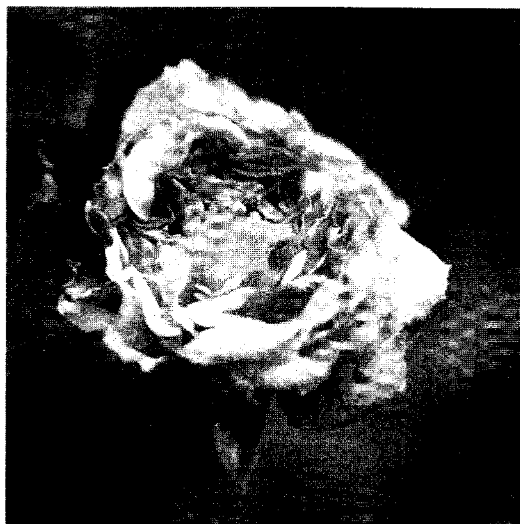
جدول ۱-۱۵ نقش چندین عنصر کم‌مصرف در گیاهان عالی

عنصر کم‌مصرف	نقش در گیاهان عالی
روی	حضور درآنزیم دی‌هیدروژناز[3]وپروتییناز[4] و پپتیداز[5]،که سبب ارتقاء هورمون‌های رشد و تشکیل نشاسته و ارتقای رسیدن بذر می‌شود.
آهن	حضور در چند آنزیم پراکسیداز[6]، کاتالاز[7]، سیتوکروم اکسیداز[8] موجود در فرودکسین [9]که در واکنش‌های احیا شرکت می‌کنند (احیا NO_3^-، SO_4^{-2}و تثبیت نیتروژن)، مهم در تشکیل سبزینه
مس	حضور در لاکاز[10]و چندین آنزیم اکسیدکننده دیگر از نظر سوخت‌وساز نوری و سوخت‌وساز پروتیین و کربوهیدرات و احتمالاً تثبیت نیتروژن مهم می‌باشد.
منگنز	سبب فعال‌شدن دی‌کربوکسیلاز[11]،دی‌هیدروژناز و آنزیم‌های اکسیدکننده می‌باشد،در سوخت‌وساز نوری، سوخت‌وساز نیتروژن و جذب نیتروژن مهم می‌باشد.
نیکل	برای اوراز[12]،هیدروناز[13]، متیل ریدکتاز[14]اساسی بوده و برای پرکردن دانه، حیات بذر، جذب آهن، متابولیسم اوره[15] و اوریید[16] و جلوگیری از سطوح سمیت این فرآورده‌های حاصل از تثبیت نیتروژن در نیام‌داران لازم است.
بر	سبب فعال‌شدن آنزیم‌های دی‌هیدروژناز به‌خصوص می‌شود. سبب تسهیل جابه‌جایی قند، ساختن اسیدنوکلییک و هورمون‌های نباتی لازم برای تقسیم و رشد یاخته می‌گردد.
مولیبدن	در آنزیم‌های نیتروژناز [17](تثبیت نیتروژن) و نیترات ریداکتاز[18] که برای تثبیت و جذب نیتروژن اساسی می‌باشند حضور دارد.
کبالت	برای تثبیت نیتروژن اساسی بوده و در ویتامین B_{12} یافت می‌شود.

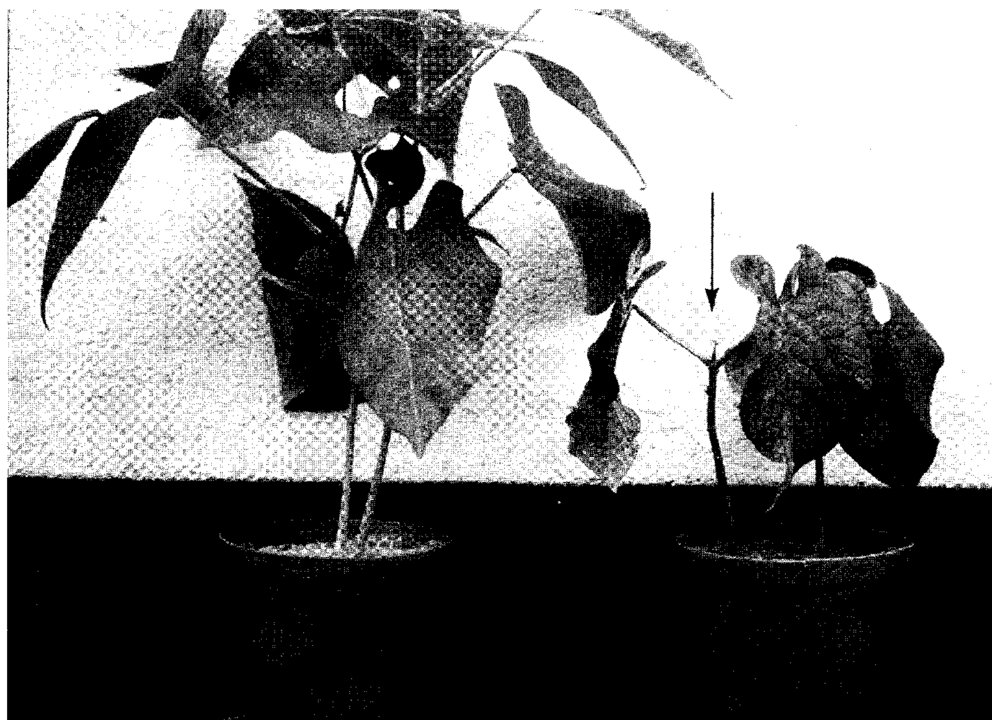
---

[1]- Little leaf
[2]- Bull head
[3]-Dehydrogenase
[4]- Proteinase
[5]- Peptidase
[6]- Peroxidasae
[7]- Catalase
[8]- Cytochrome oxidasae
[9]- Feredoxin
[10]-Laccasae
[11]-Decarboxylase
[12]- Urease
[13]- Hydrogenase
[14]- Methyl reductase
[15]- Urea
[16] Ureide
[17]- Nitrogenase
[18]- Nitrate reductase


(ب)


(الف)

شکل ۴-۱۵ یک گل سرخ تغییرشکل داده و یا کله‌گاوی بر روی بوته سرخ چای (الف). گل بازشده بر روی همان گیاه پس از مصرف محلول حاوی بر روی برگ‌ها و شکوفه‌های جوان (ب)



شکل ۵-۱۵ اهمیت بر در رشد نبات با مقایسه‌ی نبات لوبیای سالم در سمت چپ با نبات دچار کمبود در سمت راست به‌خوبی تشریح شده است. وقتی نبات سمت راست تمام بر موجود در بذر خود را مصرف کرد، ایجاد برگ‌های جدید از جوانه‌ی انتهایی (به پیکان توجه کنید) کاملاً متوقف شد.

۳-۱۵ منابع عناصر کم‌مصرف

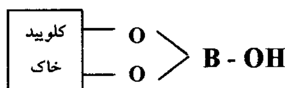
ممکن است کمبود عناصر کم‌مصرف مربوط به میزان اندک عنصر در سنگ‌های مادر و یا مواد مادری انتقال یافته باشد. مقادیر سمی آن‌ها بعضی مواقع مربوط به مقادیر زیاد غیرمعمول آن‌ها در سنگ‌ها و کانی‌های تشکیل‌دهنده‌ی خاک می‌باشد. کمبود و سمیت این عناصر عمدتاً ناشی از شرایط خاص خاک بوده که سبب افزایش و یا کاهش حلالیت و قابل‌استفاده این عناصر برای نبات می‌گردد.

اشکال معدنی عناصر کم‌مصرف

منابع ۹ عنصر کم‌مصرف به‌طور چشم‌گیری از منطقه به منطقه متفاوت است. تغییرات گسترده‌ی میزان این عناصر در خاک و مقادیر پیشنهاد شده در یک خاک معرف در جدول ۲-۱۵ آمده است.

تمام این عناصر کم‌مصرف در مقادیر متفاوت در سنگ‌های آذرین یافت می‌شوند. آهن و منگنز در کانی‌های سیلیکاتی اولیه مانند بیوتیت[1] و هورنبلند[2] دارای موقعیت ساختمانی خاص می‌باشند. کبالت و روی ممکن است موقعیت ساختمانی را به‌صورت جانشین فرعی برای اجزاء اصلی کانی‌های سیلیکاتی از جمله رس‌ها به‌دست آورند.

اشکال معدنی عناصر کم‌مصرف براثر تجزیه کانی و تشکیل خاک تغییر می‌یابد اکسیدها و در بعضی موارد سولفیدهای عناصری مانند آهن، منگنز و روی تشکیل می‌شوند(جدول۲-۱۵ را مشاهده کنید). ممکن است سیلیکات‌های ثانویه از جمله کانی‌های رسی دارای مقادیر قابل‌ملاحظه‌ای آهن، منگنز و مقادیر کمتری روی و کبالت باشند، سنگ‌های خیلی بازی به‌خصوص سرپنتین[3] از نیکل غنی می‌باشند. کاتیون‌های کم‌مصرف که با وقوع هوادیدگی آزاد می‌شوند، درست همانند جذب یون‌های کلسیم و آلومینیوم در معرض جذب کلویید قرار می‌گیرند (بخش ۳-۸ را مطالعه کنید). ممکن است آنیون‌هایی مانند بورات و مولیبدات در خاک‌ها در معرض جذب و یا واکنش‌های مشابه همانند فسفات‌ها قرار گیرند. ممکن است درمورد بر جذب به صورت زیر بیان گردد:



کلر محلول‌ترین عنصر از عناصر کم‌مصرف، هرسال به‌مقدار قابل‌ملاحظه‌ای براثر بارندگی به خاک‌ها اضافه می‌شود. افزودن ضمنی آن به خاک‌ها به‌وسیله‌ی کودهای شیمیایی اصلی و سایر راه‌ها از کمبود کلر در شرایط مزرعه‌ای ممانعت می‌کند. کلر به‌طور بسیار ضعیف جذب کلوییدهای خاک می‌شود.

جدول ۲-۱۵ منابع عمده‌ی ۹ عنصر کم‌مصرف، دامنه و میزان محتوی شاخص آن‌ها در خاک و محصول برداشت‌شده. نسبت محتوی عنصر در خاک به محصول بیانگر نیاز اساسی به ارتقای کارآیی گیاهان برای جذب این عناصر در خاک می‌باشد.

عنصر	اشکال عمده در طبیعت	دامنه‌ی تغییرات درخاک mg/kg	محتوی خاک معرف سطحی mg/kg	مقدار در نبات کیلوگرم درهکتار
آهن	اکسیدها، سولفیدها و سیلیکات‌ها	۲۰۰۰۰-۲۲۰۰۰۰	۵۶۰۰۰	۲
منگنز	اکسیدها، سیلیکات‌ها و کربنات‌ها	۴۵-۹۰۰۰	۲۲۰۰	۰/۵
روی	سولفیدها، کربنات‌ها و سیلیکات‌ها	۲۷-۷۰۰	۱۱۰	۰/۳
مس	سولفیدها، هیدراکسی کربنات‌ها و اکسیدها	۴-۲۰۰۰	۴۵	۰/۱
نیکل	سیلیکات‌ها، به‌خصوص سرپانتین	۱۰-۲۲۰۰	۴۵	۰/۰۲
بر	بور و سیلیکات‌ها، بورات‌ها	۸-۲۰۰	۲۲	۰/۲
مولیبدون	سولفیدها، اکسیدها و مولیبدات‌ها	۰/۴-۱۰	۵	۰/۰۲
کلر	کلریدها	۱۵-۱۰۰	۲۲	۲/۵
کبالت	سیلیکات‌ها	۲-۹۰	۱۸	۰/۰۲

اشکال آلی عناصر کم‌مصرف

ماده‌ی آلی منبع ثانویه مهم برای بعضی از عناصر کمیاب می‌باشد. تعدادی از آن‌ها تمایل دارند که به‌صورت ترکیبات همتافت به‌وسیله‌ی کلوییدهای آلی (هموس) نگهداری شوند. مس مخصوصاً چنان به‌وسیله‌ی ماده‌ی آلی به‌طور محکم نگهداری می‌شود که قابلیت استفاده آن در خاک‌های آلی (هیستوسول‌ها) می‌تواند بسیار پایین باشد. در خاکرخ‌های شخم‌نخورده. غلظت عناصر کم‌مصرف، که احتمالاً بیشتر آن‌ها جزء بخش آلی می‌باشند تا حدی بیشتر است. همبستگی بین ماده‌ی آلی خاک و مقدار مس، مولیبدن و روی آن مشخص شده

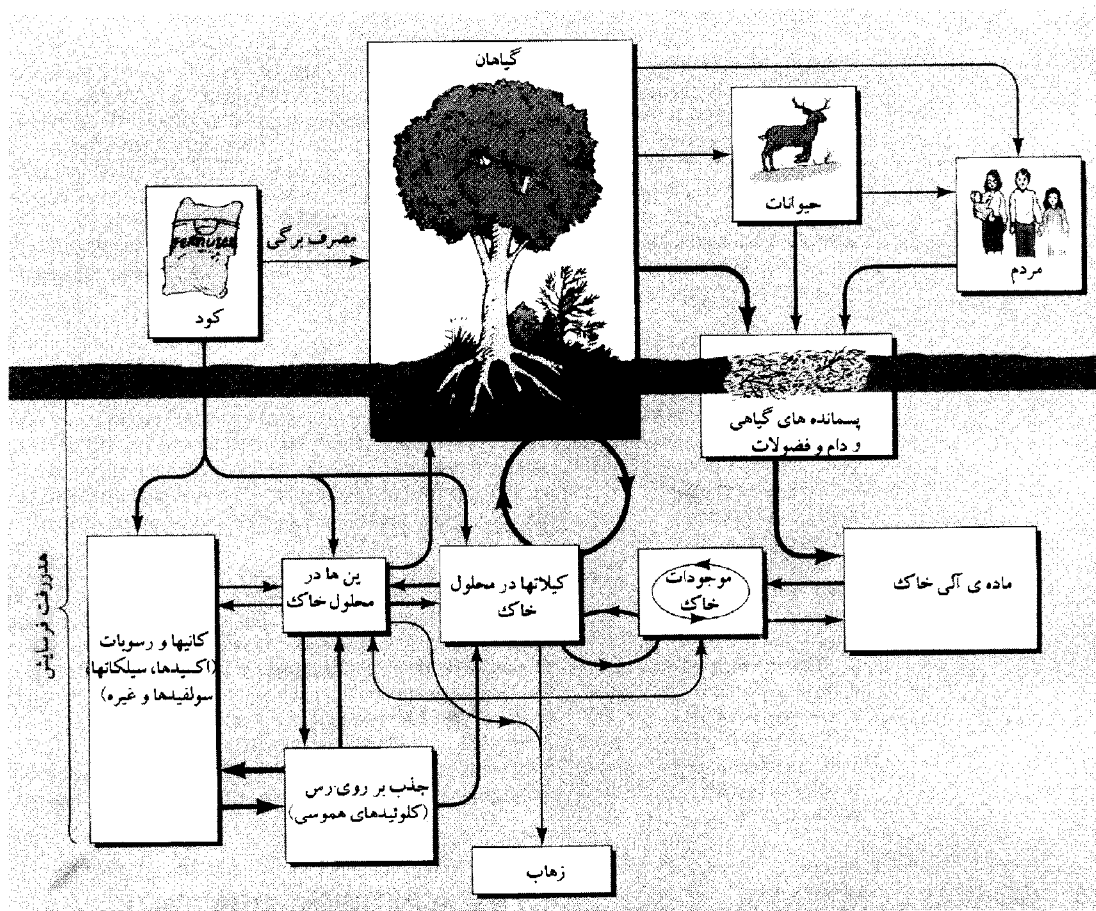
[1]- Biotite
[2]- Hornblende
[3] -Serpentinite

است. گرچه عناصری که بدین صورت به‌وسیله‌ی کلوییدها نگهداری می‌شوند همیشه به آسانی قابل‌استفاده نبات نمی‌باشند، آزادشدن آن‌ها از طریق تجربه بدون شک یک عامل مهم حاصلخیزی است. کودهای دامی منبع مناسب عناصر کم‌مصرف می‌باشد که عمده‌ی آن‌ها در اشکال آلی حضور دارند.

اشکال عناصر کم‌مصرف در محلول خاک

اشکال غالب عناصر کم‌مصرف که در محلول خاک وجود دارند در جدول ۳-۱۵ آمده است شکل خاص عمدتاً به‌وسیله‌ی pH و تهویه خاک (پتانسیل اکسید احیایی) معلوم می‌شود. توجه داشته باشید که کاتیون‌ها در شکل ساده و کاتیون‌های هیدراکسیدهای فلزی حضور دارند. در شرایط خیلی اسیدی کاتیون‌های ساده غالب بوده و با افزایش pH کاتیون‌های هیدراکسید فلزی پیچیده‌تر فراوان‌تر می‌شوند. مولیبدن عمدتاً به‌صورت MoO_4^{-2} حضور دارد، آنیونی که در pH پایین همانند فسفر وارد واکنش می‌شود(فصل ۱۴ را مشاهده کنید). اگرچه ممکن است بر در pH بالا به‌صورت آنیونی حضور داشته باشد، تحقیقات نشان داده است که اسید بوریک تفکیک نشده H_3BO_3 در محلول شکل غالب بوده و به‌وسیله‌ی نباتات عالی جذب می‌شود.

چرخه‌ی عناصر کم‌مصرف در نظام خاک-گیاه و حیوان به‌طور کلی در شکل ۶-۱۵ تشریح شده است. گرچه هر عنصر کم‌مصرف در تمام مسیرهای تعیین شده در شکل شرکت نمی‌کند، می‌توان مشاهده کرد که کیلات‌های آلی، کلوییدهای خاک، ماده‌ی آلی و کانی‌های خاک همگی در تأمین عناصر کم‌مصرف در محلول، و درنتیجه رشد نباتات دخیل می‌باشند. وقتی توجه خود را به قابلیت استفاده عناصر کم‌مصرف معطوف می‌داریم. برگشت و مراجعه‌ی مجدد به شکل ۶-۱۵ برای مشاهده‌ی روابط بین فرایندها یاری‌رسان خواهد بود.



شکل۶-۱۵ چرخه و تغییرشکل عناصر کم‌مصرف در نظام خاک، نبات و حیوان. گرچه تمام عناصر کم‌مصرف ممکن است هرکدام تمام مسیرهای تعیین‌شده را دنبال نکنند، اکثر آن‌ها در اجزاء اصلی چرخه دخیل می‌باشند. تشکیل کیلات‌ها که بیشتر این عناصر را در شکل محلول نگه می‌دارند چهره‌ای مشخص در این چرخه می‌باشد.

۱۵-۴ شرایط کلی که منجر به کمبود عناصر کم‌مصرف می‌شوند

عناصر کم‌مصرف، به‌طور بسیار متحمل در ۵ نوع شرایط موجود در خاک که در زیر آمده است سبب محدودیت رشد نبات می‌شوند.

خاک‌های شنی اسیدی آبشویی‌شده: خاک‌های شدیداً آبشویی‌شده شنی اسیدی از نظر عناصر کم‌مصرف، به همان دلیل که از نظر عناصر پرمصرف نیز دچار کمبود می‌باشند فقیرند. این عناصر در مواد مادری آن‌ها از اول پایین بوده و آبشویی اسید سبب برداشت هرچه‌بیشتر اندک مقدار اولیه عناصر موجود در آن‌ها گردیده است. درمورد مولیبدون، شرایط اسیدی خاک سبب کاهش چشم‌گیر قابلیت استفاده آن‌ها خواهد شد.

خاک‌های آلی: میزان عناصر کم‌مصرف خاک‌های آلی وابسته به شستشو و یا آبشویی این عناصر به مناطق باتلاقی طی تشکیل خاک است. در اکثر موارد میزان حرکت این مواد برای تولید رسوباتی با مقادیر زیاد عناصر کم‌مصرف مشابه با خاک‌های معدنی اطراف آن‌ها اندک می‌باشد. توانایی خاک‌های آلی برای پیوند عناصر خاص، به‌خصوص مس، نیز سبب تشدید کمبود آن‌ها می‌شود.

کشت‌وکار پرنهاده: کشت‌وکار پرنهاده که در آن مقادیر زیادی از عناصر غذایی به‌وسیله‌ی برداشت محصول خارج می‌شود، سبب تخلیه‌ی ذخایر عناصر کم‌مصرف در خاک و افزایش کمبود محتمل آن‌ها می‌گردد. این تخلیه در عملکردهای بالا با کمک کودهای شیمیایی، که فقط عناصر پرمصرف را تأمین کرده و فاقد عناصر کم‌مصرف است بسیار معمول می‌باشد.

pH بسیار زیاد و کم: خاک به‌خصوص در خاک‌ها با تهویه مناسب، دارای تأثیر قطعی بر قابلیت استفاده تمام عناصر کم‌مصرف، به‌استثنای کلر، می‌باشد. در شرایط خیلی اسیدی، مولیبدون غیرقابل استفاده می‌شود. در pHهای بالا قابلیت استفاده‌ی تمام کاتیون‌های کم‌مصرف به‌طور نامطلوب تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

جدول ۳-۱۵ اشکال عناصر کم‌مصرف غالب در محلول خاک

عنصر کم‌مصرف	شکل غالب درخاک	عنصر کم‌مصرف	شکل غالب درخاک	عنصر کم‌مصرف	شکل غالب درخاک
آهن	$Fe(OH)_2^+, Fe(OH)^{2+}, Fe^{3+}, Fe^{2+}$	کبالت	Co^{2+}	مس	Cu^{2+} , $Cu(OH)^+$
روی	$Zn(OH)^+$ و Zn^{2+}	نیکل	Ni^{2+} و Ni^{3+}	بر	$H_2BO_3^-$ و H_3BO_3
مولیبدون	$HMoO_4^-$ و MoO_4^{-2}	منگنز	Mn^{2+}	کلر	Cl^-

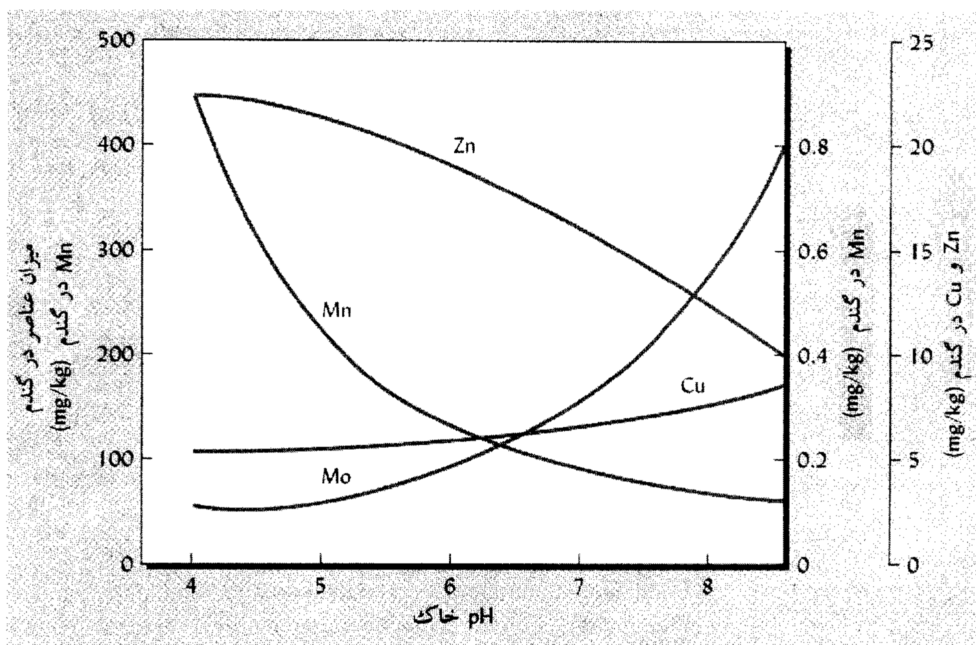
خاک‌های فرسایش‌یافته: فرسایش خاک می‌تواند بر قابلیت استفاده عناصر مؤثر باشد. فرسایش خاک سطحی سبب برداشت ماده‌ی آلی قابل‌ملاحظه‌ای که در آن‌ها عناصر کم‌مصرف قابل‌استفاده وجود دارند خواهد شد. همچنین برداشت خاک سطحی سبب ظاهرشدن خاک تحت‌الارض خواهد شد که معمولاً دارای pH بالاتر از خاک سطحی بوده و سبب کمبود بعضی از عناصر کم‌مصرف مانند مس خواهد شد برجستگی‌ها و دامنه‌های فرسایش‌یافته معمولاً محل کمبود بعضی از عناصر می‌باشد.

۱۵-۵ عوامل مؤثر در قابلیت استفاده‌ی کاتیون‌های کم‌مصرف

هرکدام از کاتیون‌های عناصر کم‌مصرف (Co , Ni , Zn , Cu , Mn , Fe) به طریقی خاص تحت تأثیر محیط خاک قرار می‌گیرند. گرچه، عوامل به‌خصوص خاک دارای همان اثرات کلی بر قابلیت استفاده هر ۶ کاتیون می‌باشند.

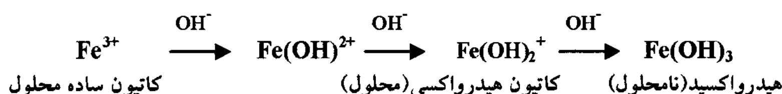
pH خاک

کاتیون‌های کم‌مصرف در شرایط اسیدی دارای محلول‌ترین و قابل‌استفاده‌ترین وضعیت می‌باشند، در خاک‌های خیلی اسیدی یون‌های آهن، منگنز، روی، مس دارای فراوانی نسبی می‌باشند (شکل۷-۱۵). نیکل شیوه‌ی عمومی افزایش قابلیت استفاده را در pH پایین دنبال می‌کند. در واقع تحت این شرایط، غلظت محلول خاک و یا فعالیت یک عنصر و یا عناصر بیشتر (به‌طور معمول منگنز) چنان بالاست که برای گیاهان معمولی سمی می‌باشد. همان طوری که در فصل ۹ بیان گردید، یکی از دلایل اولیه برای آهک‌دادن خاک‌های اسیدی کاهش حلالیت Mn و Al می‌باشد.



شکل ۷-۱۵ اثر pH خاک بر غلظت منگنز، روی، مس، مولیبدون در نبات گندم. خاک‌ها از کشورهای مختلف در سرتاسر جهان بوده است میزان مولیبدون بسیار پایین است اما با افزایش pH افزایش می‌یابد. میزان منگنز و روی با افزایش pH کاهش می‌یابد، مس کمتر تحت تأثیر قرار گرفته است.

با افزایش pH شکل یونی کاتیون‌های عناصر کم‌مصرف اول به یون‌های هیدراکسیل عنصر و نهایتاً به هیدراکسیدها و اکسیدهای نامحلول عنصر تبدیل می‌شود در مثال زیر از ین آهن سه‌ظرفیتی به‌عنوان نمونه گروه استفاده شده است:



$$Fe^{3+} \xrightarrow{OH^-} Fe(OH)^{2+} \xrightarrow{OH^-} Fe(OH)_2^{+} \xrightarrow{OH^-} Fe(OH)_3$$

کاتیون ساده محلول — کاتیون هیدرواکسی(محلول) — هیدرواکسید(نامحلول)

تمام هیدراکسیدهای کاتیون‌های عناصر کم‌مصرف نسبتاً نامحلول می‌باشند گرچه برخی از برخی دیگر نامحلول‌ترند. pH دقیق که در آن ترسیب صورت می‌گیرد عنصر به عنصر و بین حالت‌های اکسایش هر عنصر متفاوتست. برای مثال، ظرفیت بالای آهن و منگنز در هیدراکسید آن‌ها بسیار نامحلول‌تر از ترکیبات دارای ظرفیت پایین می‌باشد. در مقادیر پایین pH حلالیت کاتیون‌های عناصر کم‌مصرف بالا بوده و با افزایش pH قابلیت انحلال و قابلیت استفاده آن‌ها برای گیاهان کاهش می‌یابد. آهک‌دادن بیش‌از اندازه در یک خاک اسیدی اغلب منجر به کمبود آهن، منگنز، روی، مس و بعضی مواقع بُر، می‌گردد. چنین کمبودها که با pH بالا همراه است. به‌طور طبیعی در بسیاری از خاک‌های آهکی مناطق خشک صورت می‌گیرد.

مطلوب‌بودن عمومی یک خاک کمی اسیدی (pH بین۶ و ۷) عمدتاً ریشه در این واقعیت دارد که برای بسیاری از گیاهان این شرایط pH امکان می‌دهد که کاتیون‌های عناصر کم‌مصرف به‌اندازه کافی برای رفع نیازهای نبات محلول بوده و ایجاد سمیت نکنند (شکل۱۸-۹ را مشاهده کنید). گیاهان خاص، به‌خصوص انواعی که بومی خاک‌های خیلی اسیدی می‌باشند دارای توان اندکی برای جذب آهن و سایر عناصر کم‌مصرف می‌باشند، مگر آن‌که خاک کاملاً اسیدی گردد (حدودpH ۵)، درpH بالاتر از ۵/۵ این نباتات با کمبود این عنصر مواجه می‌شوند (شکل ۸-۱۵را مشاهده کنید). بخش ۷-۹ اطلاعات اختصاصی‌تری از pH مطلوب گیاهان مختلف را ارایه می‌دهد.

قابلیت استفاده روی همانند آهن وقتی pH خاک با دادن آهک، افزایش می‌یابد، کاهش پیدا می‌کند، هرچند علاوه بر اثرات pH اضافه‌کردن مواد آهکی دارای منیزیم فراوان (سنگ آهک دولومیتی) سبب کاهش هرچه بیشتر قابلیت استفاده روی خواهد شد. زیرا روی به‌شدت جذب دولومیت و بلورهای کربنات منیزیم خواهد شد. کمبود روی ممکن‌است براثر برهمکنش روی و منیزیم در گیاه تشدید یابد.

حالت اکسایش وpH

کاتیون‌های عناصر کم‌مصرف آهن، منگنز و مس در خاک‌ها با ظرفیت‌های متفاوت وجود دارند درحالت ظرفیت پایین عناصر به‌صورت احیا شده، و درحالت ظرفیت بالا اکسیدشده می‌باشند. کاتیون‌های فلزی، وقتی عرضه‌ی اکسیژن کاهش یابد، مانند خاک‌های مرطوب دارای

مواد آلی قابل‌تجزیه، احیا می‌شوند. احیا همچنین می‌تواند به‌وسیله‌ی عوامل احیاکننده سوخت‌وسازی آلی مانند NADPH[1] و یا اسید کافییک[2]، که به‌وسیله‌ی نباتات و ریزجانداران در خاک تولید می‌شوند، انجام می‌پذیرد.

تغییر از یک ظرفیت به ظرفیت دیگر در اکثر موارد به‌وسیله‌ی ریزجانداران و ماده‌ی آلی انجام می‌شود. ممکن است موجودات در بعضی موارد انرژی خود را مستقیماً از واکنش‌های معدنی به‌دست آورند. برای نمونه اکسایش منگنز در Mn^{2+} در اکسید منگنز (Mno) به Mn^{+4} در اکسید منگانیک MnO_2 می‌تواند به‌وسیله‌ی باکتری‌ها و قارچ‌های خاص انجام پذیرد. در سایر موارد، ممکن است مواد آلی تشکیل شده به‌وسیله‌ی میکروب‌ها و یا ریشه گیاهان مسوول اکسایش و احیا باشند، به‌طور کلی pH بالا برای اکسایش مطلوب بوده درصورتی‌که شرایط اسیدی منجر به احیا خواهد شد.



شکل۸-۱۵ برگ‌های دچار کلزر در این بوته ازالیا علامتی از کمبود آهن است که به‌طور غیرعمد براثر pH بسیار بالای خاک به‌وجود آمده‌است. در این مورد کمبود آهن به‌خاطر استفاده از سنگ‌ریزه‌های مرمر برای تزیین در سطح بود. مرمر عمدتاً از کربنات کلسیم تشکیل شده است. آب باران نفوذ کرده در پوشش سنگ‌ریزه سبب انحلال آهک به‌مقدار کافی و رساندن آب به خاک زیرین، و بالابردن pH از ۵/۲ به ۶ گردید. در pH ۶ انحلال آهن چنان پایین است که آزالیا نمی‌تواند آهن خود را از آن کسب کند. آبشویی آهک در پیاده‌روهای سیمانی می‌تواند اثرات مشابهی را در نباتات اسیددوست در خاک‌های مجاور داشته باشد.

برهمکنش اسیدیته و تهویه خاک: در مقادیر pH معمول در خاک‌ها حالت اکسیدشده آهن، منگنز و مس معمولاً بسیار کمتر از حالت احیا محلول می‌باشد. هیدراکسیدهای این اشکال با ظرفیت بالا در مقادیر pH پایین ترسیب یافته و به‌مقدار زیاد غیرمحلول می‌باشند. برای نمونه، هیدراکسید آهن سه‌ظرفیتی در مقادیر pH ۳ تا ۴ رسوب می‌کند درحالی‌که هیدراکسید آهن فرو دوظرفیتی تا مادامی‌که pH به ۶ و بالاتر نرسد رسوب نمی‌کند.

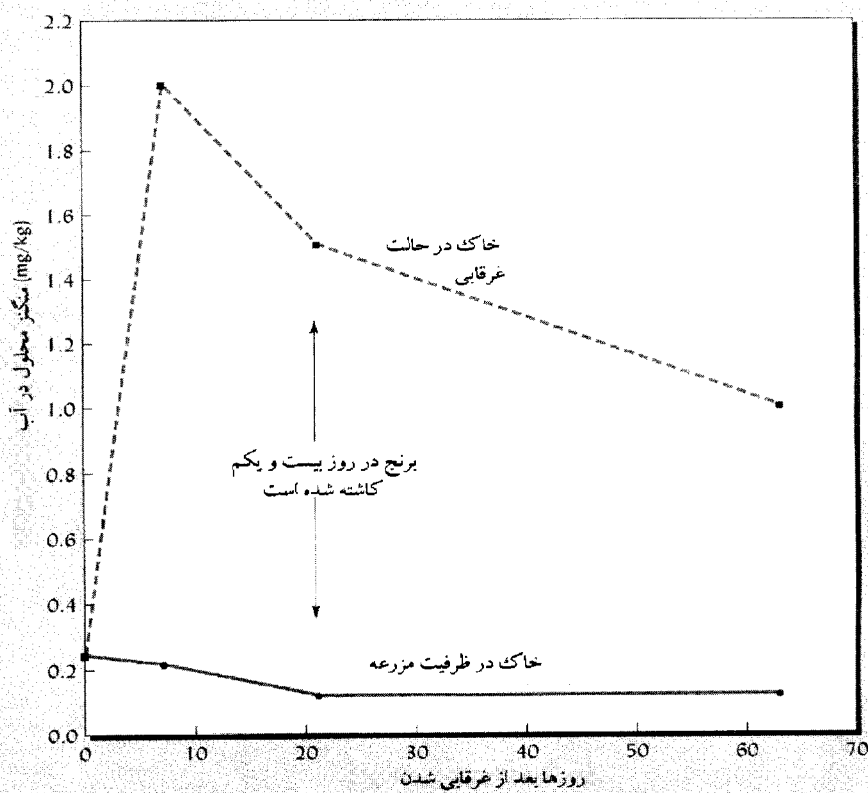
برهمکنش اسیدیته خاک و تهویه در تعیین قابلیت استفاده عناصر کم‌مصرف دارای اهمیت عملی زیادی می‌باشد. آهن، منگنز و مس معمولاً در شرایط زه‌کشی ناقص و در خاک‌های غرقابی قابل‌استفاده می‌باشند (شکل ۹-۱۵). ممکن است خاک‌های خیلی اسیدی، که دارای زه‌کشی ضعیف می‌باشند سبب عرضه‌ی مقادیر سمی آهن و منگنز شوند. گزارش شده است که سمیت منگنز وقتی صورت می‌گیرد که خاک‌های اسیدی دارای منگنز زیاد به‌طور کامل در طول آبیاری مرطوب گردند. اندی‌سول‌ها (خاک‌های گدازه‌های آذرین) با افق سطحی سیاه دارای ماده‌ی آلی زیاد از نظر مسایل سمیت منگنز وقتی با باران‌های سنگین مرطوب شوند، مشهور می‌باشند. سمیت آهن در برنج‌زارها معمول است. این سمیت در شرایط زه‌کشی مطلوب کمتر احتمال وقوع دارد مگر این‌که pH خیلی پایین باشد.

---

[1] - Nicotinamid Diphosphate
[2]- Caffeic acid

در دامنه بالای pH خاک، زه‌کشی مطلوب و تهویه دارای اثرات برعکس می‌باشند. بعضی مواقع خاک‌های آهکی با اکسایش خوب از نظر آهن، روی و منگنز قابل‌استفاده، حتی درصورت بالابودن مقدار کل این عناصر، با کمبود مواجه می‌شوند. هیدراکسیدهای دارای ظرفیت بالای این عناصر برای تأمین یون‌های موردنیاز رشد نبات بسیار نامحلول می‌باشند. برعکس، در مقادیر بالای pH خاک قابلیت استفاده‌ی مولیبدون ممکن است فوق‌العاده زیاد باشد، مولیبدونوزیز[1] یک بی‌نظمی بالقوه کشنده است که در اثر وجود مولیبدون بیش از اندازه در جیره‌ی غذایی احشام چراکننده برروی گیاهان روییده در خاک‌های دارای pH خیلی بالا صورت می‌گیرد.

اختلافات چشم‌گیری در حساسیت ارقام مختلف نباتی به کمبود آهن در خاک‌های دارای pH بالا وجود دارد. این ظاهراً به‌خاطر اختلاف در توانایی آن‌ها برای محلول‌کردن آهن در پیرامون خیلی نزدیک ریشه‌ها می‌باشد. ارقام مقاوم به تنش کمبود آهن، با اسیدی‌کردن پیرامون ریشه و ترشح ترکیباتی که قادرند سبب احیای آهن به اشکال محلول‌تر و درنتیجه افزایش قابلیت استفاده آن شوند، عکس‌العمل نشان می‌دهند (شکل ۱۰-۱۵). به‌نظر می‌رسد، که بیشترین فعالیت احیای آهن در ریشه‌های موبین برروی ریشه‌های جوان دارای رشد شدید متمرکز شده باشد (شکل ۱۱-۱۵).



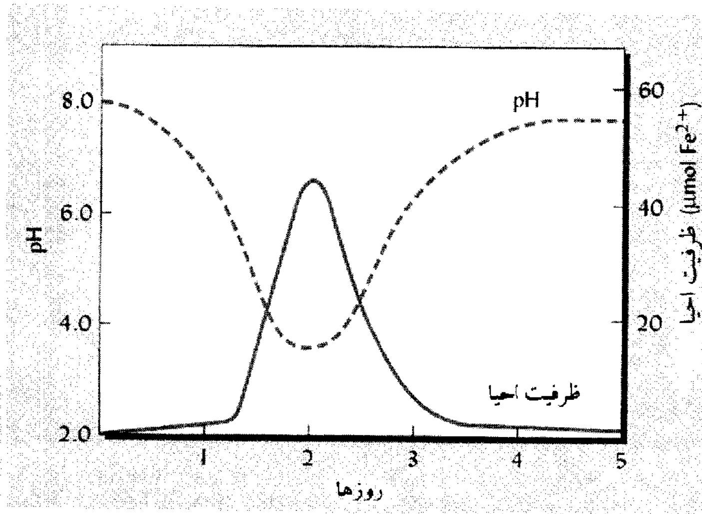
شکل۹-۱۵ اثر غرقاب‌کردن بر منگنز محلول در آب خاک. اطلاعات معدل ۱۳ افق بدون مصرف ماده‌ی اصلاحی در التی‌سول‌ها با pH اولیه از ۳/۹ تا ۷/۱ می‌باشد.

سایر واکنش‌های معدنی

کاتیون‌های عناصر کم‌مصرف با رس‌های سیلیکاتی به دو طریق برهم واکنش دارند. اول، آن‌ها در واکنش تبادل کاتیونی بسیار شبیه با کلسیم و آلومینیوم، وارد می‌شوند. دوم، ممکن‌است آن‌ها به‌طور بسیار محکم در رس‌های سیلیکاتی مشخص، به‌خصوص نوع ۲:۱ وارد پیوند شده یا تثبیت گردند. یون‌های روی، منگنز، کبالت و آهن بعضی مواقع در ساختمان بلوری این رس‌ها وارد می‌شوند و بسته به شرایط ممکن است از رس آزاد شده و یا در حالتی مشابه با پتاسیم در آن‌ها تثبیت گردند (بخش ۱۴-۱۴را مشاهده کنید). تثبیت ممکن است سبب کمبود فاحش کبالت و بعضی مواقع روی گردد، زیرا این عناصر به مقدار بسیار اندک در خاک وجود دارند.

---
[1]- Molybdenosis

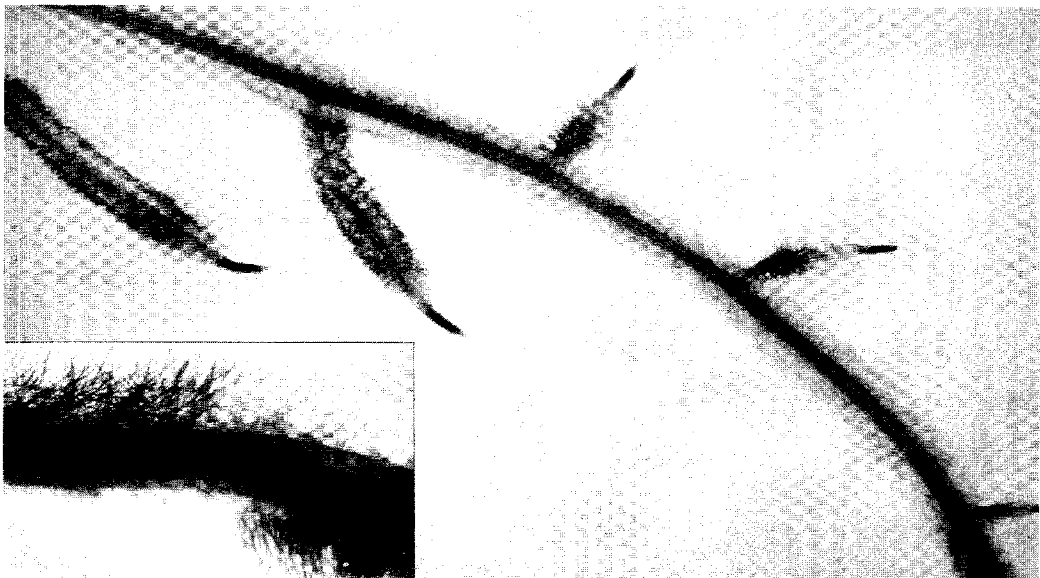
مصرف مقادیر زیاد کودهای فسفاته می‌تواند تأثیر منفی در تأمین بعضی از عناصر کم‌مصرف داشته باشد، ممکن است جذب هر دو عنصر آهن و روی در حضور فسفات اضافی کاهش یابد. به‌دلیل مسائل زیست‌محیطی و همین‌طور از نظر استفاده‌ی عملی، کودهای فسفاته باید فقط در مقادیری که لازمه‌ی رشد نبات است مصرف شوند.



شکل ۱۰-۱۵ واکنش یک رقم آفتابگردان به کمبود آهن. وقتی گیاه در اثر کمبود آهن تحت تنش قرارمی‌گیرد، ترشحات ریشه سبب پایین‌آمدن pH و افزایش ظرفیت احیا در پیرامون نزدیک ریشه‌ها گردیده، آهن حل شده و به‌وسیله‌ی نبات جذب، و تنش تخفیف پیدا کرده، و شرایط به‌حالت عادی باز می‌گردند.

زردی ناشی از مصرف آهک

کمبود آهن در درختان میوه و بسیاری از نباتات دیگر در حضور یون بی‌کربنات تقویت می‌شود. آب‌های آبیاری دارای بی‌کربنات سبب افزایش این یون در بعضی از خاک‌ها می‌شوند. در سایر خاک‌ها، به‌خصوص خاک‌های شنی با ظرفیت بافری ضعیف، کمبود آهن براثر مصرف آهک زیاد برای رسیدن به pH مناسب ناشی می‌شود. یون بی‌کربنات در خاک‌ها با pH بالا در سوخت‌وساز آهن مزاحمت ایجاد می‌کند، زیرا حلالیت آهن در این خاک‌ها به مقدار زیادی کاهش می‌یابد.



شکل ۱۱-۱۵ احیای آهن به‌وسیله‌ی ریشه‌های گوجه‌فرنگی که با فروبردن ریشه‌های زنده به داخل محلول رنگی مشخص می‌شود. وقتی آهن در شکل آهن دوظرفیتی احیا می‌شود رنگ آبی تند در لکه ایجاد می‌گردد. توجه نمایید که واکنش احیا فقط در بخش رسیده انشعاب جوان ریشک‌ها (نه در منطقه نرسیده به نوک ریشه) صورت می‌گیرد. نوک ریشه‌های درحال‌توسعه هنوز سازوکار احیا را ایجاد نکرده است. نمای نزدیک (داخل عکس) نشان می‌دهد که واکنش احیا فقط در ریشه‌های مویین صورت گرفته و قسمت اصلی ریشه سیاه نشده باقی می‌ماند.

ماده‌ی آلی

استعمال ماده‌ی آلی، پس‌ماندهای آلی و کود دامی بر قابلیت استفاده بالفعل و بالقوه‌ی کاتیون‌های عناصر کم‌مصرف تأثیر می‌گذارند. بعضی از ترکیبات آلی با این کاتیون‌ها وارد واکنش شده و همتافت‌های غیرمحلول در آب را ایجاد می‌کنند که می‌توانند آن‌ها را از تعامل ذرات معدنی که قادرند آن‌ها را به اشکال بسیار نامحلول درآورده بازدارند. سایر همتافت‌ها، عناصر غذایی دارای قابلیت استفاده کند را هنگام تجزیه میکروبی فراهم می‌آورند. همتافت‌های آلی که سبب بالارفتن قابلیت استفاده عناصر می‌شوند در بخش ۶-۱۵ مورد ملاحظه قرار خواهند گرفت.

کمبود مس، و به‌مقدار کمتری منگنز، در خاک‌ها با زه‌کشی ضعیف دارای ماده‌ی آلی زیاد صورت می‌گیرد (خاک‌های باتلاقی). روی نیز به‌وسیله‌ی ماده‌ی آلی نگهداری می‌شود، اما کمبود ناشی از این نگهداری معمول نیست.

تجزیه‌ی میکروبی ماده‌ی آلی و کود دامی می‌تواند سبب آزادشدن عناصر کم‌مصرف، همانند عناصر پرمصرف گردد. همان‌طورکه درمورد عناصر پرمصرف مانند نیتروژن گفته شد، کمبود موقتی عناصر کم‌مصرف هنگام اضافه‌کردن پس‌ماندها به‌دلیل جذب و هضم عناصر کم‌مصرف خاک در اندام‌های ریزجانداران فعال پیش می‌آید.

محصولات آلی غنی از عناصر کم‌مصرف به‌عنوان منابع غذایی در خاک‌های دارای کمبود عناصر کم‌مصرف به‌کار می‌رود. برای نمونه معلوم شده است که کمپوست مواد آلی غنی از آهن همانند محصولات جانبی جنگل، پیت، کود دامی و پس‌ماندهای گیاهی، برای خاک‌های دارای کمبود آهن مؤثر می‌باشد.

نقش قارچ- ریشه (میکوریز)

همزیستی بین اکثر گیاهان عالی و قارچ‌های خاک سبب تولید قارچ- ریشه‌ها می‌شود که به‌مراتب از ریشه‌های عادی نبات از چند نظر کاراتر می‌باشند. سرشت همزیستی قارچ- ریشه و اهمیت آن در تغذیه فسفر در بخش ۹-۱۱ و ۳-۱۴ موردبحث قرار گرفت، اما به‌جا خواهد بود که اشاره کنیم قارچ- ریشه سبب افزایش جذب عناصر کم‌مصرف به‌وسیله‌ی نبات می‌شود (جدول ۵-۱۱). تناوب زراعی و سایر عملیات که سبب تقویت تنوع قارچ- ریشه‌ها می‌گردند سبب بهبود تغذیه عناصر کم‌مصرف به‌وسیله‌ی نباتات نیز می‌شوند (شکل۱۲-۱۵).

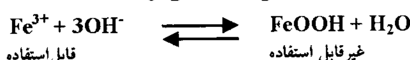
تعجب‌آور این‌که وقتی این عناصر در غلظت‌های بالقوه سمی وجود دارند قارچ-ریشه از جذب بیش از حد عناصر کمیاب و سایر عناصر کم‌مصرف به‌وسیله‌ی گیاه ممانعت می‌کنند. نهال‌های درختانی مثل غان، کاج و سرو قادرند در محل‌هایی که با مقادیر زیاد روی، مس، نیکل و آلومینیوم آلوده شده‌اند به‌خوبی رشد کنند به‌شرط آن‌که ریشه‌های آن‌ها به‌وسیله‌ی قارچ-ریشه‌های خارجی دربرگرفته شوند. قارچ-ریشه‌ها ظاهراً کمک می‌کند که این کاتیون‌های فلزی از استوانه‌ی ریشه جدا شده، و از انتقال کاتیون‌های فلزی در فاصله طولانی در داخل نبات ممانعت به‌عمل آید.

۶-۱۵ ترکیبات آلی به‌صورت کیلات

عناصر کم‌مصرف کاتیونی با مولکول‌های آلی خاص برای تولید همتافت‌های فلزی آلی که کیلات نامیده می‌شوند وارد واکنش می‌گردند. اگر این همتافت‌ها محلول باشند. قابلیت استفاده‌ی عنصر کم‌مصرف را افزایش داده و آن‌را از واکنش‌های ترسیب حفظ می‌کنند. برعکس تشکیل یک همتافت غیرمحلول قابلیت استفاده عنصر کم‌مصرف را کاهش می‌دهد.

کیلات (از کلمه یونانی Chele به معنی پنجه) یک ترکیب آلی است که در آن ۲ و یا چند اتم قادرند با همان اتم فلزی پیوند تشکیل داده و بنابراین سبب ایجاد یک حلقه شوند. ممکن است این مولکول‌های آلی به‌وسیله‌ی ریشه‌ی گیاهان ساخته شده و در خاک اطراف آزاد شود، ممکن است در هموس خاک وجود داشته و یا ممکن است به‌صورت ترکیبات مصنوعی برای ارتقاء قابلیت استفاده‌ی عناصر کم‌مصرف به خاک اضافه شود. کاتیون‌ها در شکل همتافت از واکنش با اجزای معدنی خاک که سبب می‌شود به‌صورت غیرقابل استفاده برای جذب نبات درآیند، ممانعت می‌کنند. آهن، روی، مس، و منگنز جزء کاتیون‌هایی هستند که همتافت‌های کیلات تشکیل می‌دهند. دو نمونه از ساختمان حلقوی کیلات آهن در شکل۱۳-۱۵ نشان داده شده است.

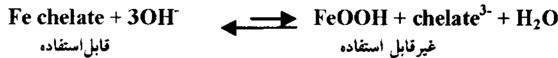
اثر کیلاته‌کردن می‌تواند در آهن مطابق روابط زیر تشریح گردد. در نبود کیلات وقتی یک نمک معدنی مانند سولفات فریک، به یک خاک قلیایی اضافه می‌شود بیشتر آهن براثر واکنش با هیدراکسید به‌سرعت طی واکنش زیر غیرقابل استفاده می‌گردد.



$$Fe^{3+} + 3OH^- \rightleftharpoons FeOOH + H_2O$$

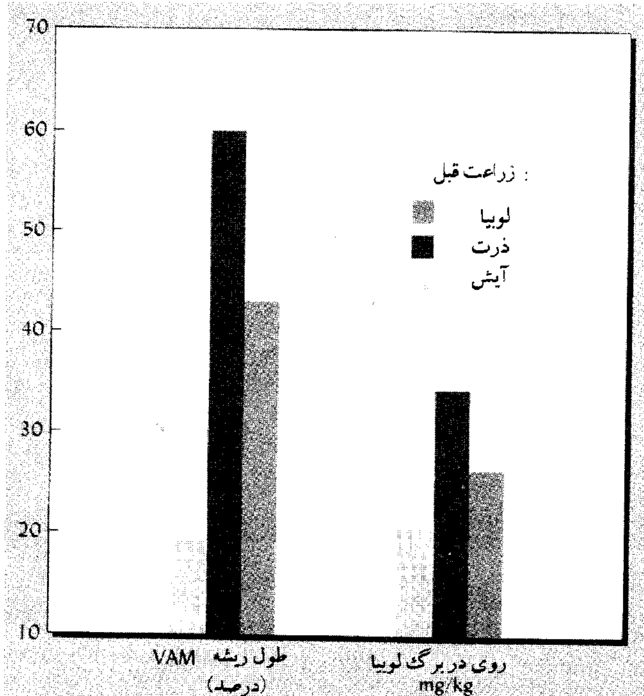
قابل استفاده — غیرقابل استفاده

برعکس اگر آهن کیلاته گردد، بخش عمده‌ی آن در شکل کیلات باقی می‌ماند که برای جذب گیاه قابل‌استفاده می‌باشد. در این واکنش تمایل بر ایجاد کیلات آهن قابل‌استفاده می‌باشد:



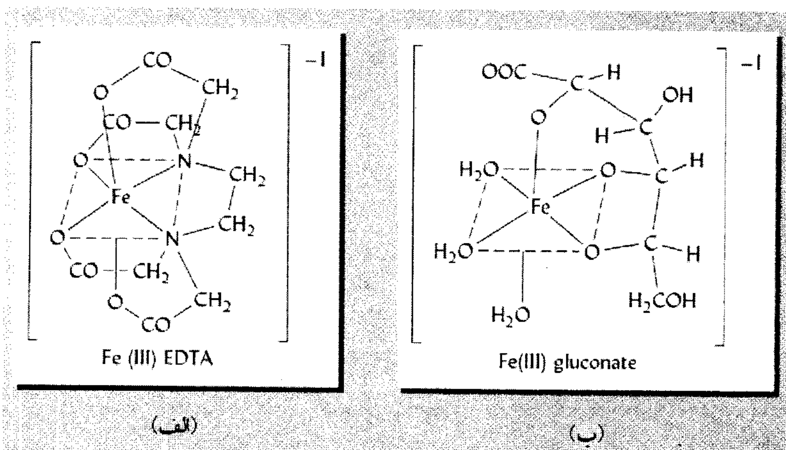
$$\text{Fe chelate} + 3OH^- \rightleftharpoons FeOOH + \text{chelate}^{3-} + H_2O$$

قابل‌استفاده — غیرقابل استفاده



شکل ۱۲-۱۵ اثر تناوب زراعی در جذب روی و تشکیل قارچ- ریشه به‌وسیله‌ی لوبیا. لوبیای کشت شده در خاک (اریدی‌سول Calcid) با آبیاری جوی پشته‌ای در ایالت آیداهو، به‌دنبال کشت ذرت، لوبیا و یا آیش در سال قبل. تناوب لوبیا به‌دنبال ذرت هم برای تشکیل قارچ- ریشه‌های ویزیکولار اربسکولار (VAM) و هم جذب روی در لوبیای سال دوم مطلوب بود.

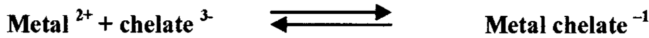
سازوکاری که براثر آن عناصر کم‌مصرف کیلاتی به‌وسیله‌ی نباتات جذب می‌شوند در گیاهان مختلف متفاوت است. بسیاری از دو لپه‌ای‌ها، کاتیون فلزی کیلات را از سطح ریشه جدا نموده، آنرا احیا کرده (در مورد آهن) و ضمن آزادکردن عامل کیلاتی آلی به داخل خاک کاتیون را جذب می‌کنند. مشخص شده است که ریشه‌های بعضی از گندمیان به‌خصوص تمام همتافت فلز – کیلات را جذب کرده، سبب احیا و جداسازی کاتیون فلزی در داخل یاخته ریشه شده، سپس کیلات آلی را به داخل محلول خاک بر می‌گردانند (شکل ۱۴-۱۵). در هر دو مورد به‌نظر می‌رسد که نقش اصلی کیلات این است که اجازه دهد کاتیون فلزی در محلول باقیمانده تا بتواند در داخل خاک به ریشه گیاه انتشار یابد. زمانی که کاتیون‌های کم‌مصرف داخل نبات رسیدند، ممکن است سایر کیلات‌های آلی (مانند سیترات‌ها) به‌عنوان حامل کاتیون در بخش‌های مختلف نبات عمل کنند.



شکل ۱۳-۱۵ فرمول ساختمانی دو کیلات معمول آهن فریک: اتیلن دی‌آمین تترااستات(الف) و فریک گلکونات(ب).در هردو کیلات، آهن محفوظ شده است ولی می‌تواند مورد استفاده نبات قرار گیرد.

پایداری کیلات‌ها

بعضی از عوامل کیلاته‌کردن مصنوعی عمده در جدول ۴-۱۵ آمده‌اند. ترکیبات مشابه بسیاری به‌صورت طبیعی در خاک وجود دارند. کیلات‌ها از نظر پایداری، و بنابراین تناسب آن‌ها به‌عنوان منابع عناصر کم‌مصرف متفاوت می‌باشند. پایداری کیلات به‌وسیله‌ی ثابت پایداری آن اندازه‌گیری می‌شود، و آن عبارتست از تمایلی که یک ین فلزی برای پیوند با کیلات دارد. اگر پیوند یک فلز و یا آزادشدن آن به‌وسیله‌ی عامل کیلاتی با واکنش زیر معرفی گردد،

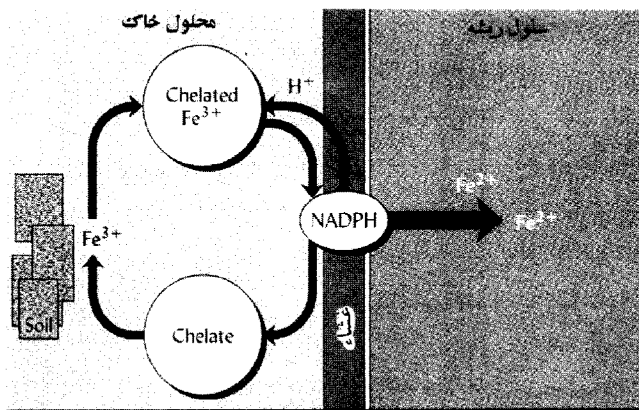


$$\text{Metal}^{2+} + \text{chelate}^{3-} \rightleftharpoons \text{Metal chelate}^{-1}$$

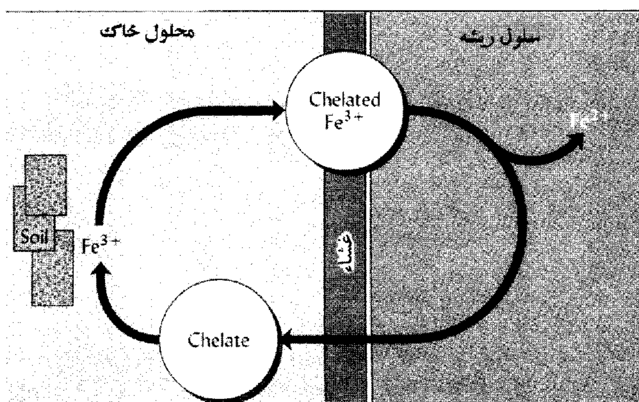
آنگاه ثابت پایداری K برای همتافت فلز – کیلات به‌صورت زیر محاسبه می‌شود. مقادیر در قاب‌ها بیانگر غلظت محلول‌ها می‌باشند:

$$K = \frac{[\text{metal - chelate}]}{[\text{metal}][\text{chelate}]}$$

هرچه ثابت پایداری بزرگ‌تر باشد، تمایل فلز برای باقی‌ماندن به‌حالت کیلات بیشتر است. ثابت پایداری برای هر همتافت کیلات فلز متفاوت بوده و معمولاً برحسب لگاریتم K بیان می‌شود(جدول ۱۴-۱۵ را مشاهده کنید).



(الف)



(ب)

شکل ۱۴-۱۵ دو طریق که در آن‌ها گیاهان از ریزمغذی‌های نگهداری‌شده در شکل کیلاتی بهره می‌برند. (الف) نباتات دولپه‌ای مانند خیار و بادام‌زمینی تولید عوامل احیاکننده‌ی قوی(NADPH) می‌کنند که سبب احیا آهن در سطح خارجی غشاء ریشه می‌شود. سپس آن‌ها تنها آهن احیاشده را به داخل نبات جذب می‌کنند. کیلات آلی در داخل محلول خاک باقی‌مانده در آن‌جا می‌تواند اتم دیگر آهن را همتافت کند. (ب)گیاهان گندمی مانند گندم و ذرت ظاهراً تمام همتافت کیلات – فلز را در داخل یاخته‌های ریشه خود جذب می‌کنند. آن‌ها سپس آهن را جدا و احیا نموده و کیلات را به‌داخل محلول خاک برگشت می‌دهند.

ثابت پایداری برای برآورد این‌که کدام کیلات برای تأمین کدام عنصر کم‌مصرف بهترین می‌باشد سودمنداست. برای آن‌که اثرات مفید یک کیلات فلزی اضافه شده به خاک تداوم داشته باشد، باید به‌طور معقولی در خاک پایدار باقی بماند. برای مثال پایداری $EDDHA\text{–}Fe^{3+}$ ۳۳/۹ است اما ثابت پایداری $EDDA - Zn^{2+}$ فقط ۱۶/۸ است (جدول۴-۱۵). بنابراین می‌توانیم پیش‌بینی نماییم که اگر EDDHA–Zn به خاکی اضافه شود Zn در کیلات به‌سرعت و تقریباً به‌طور کامل به‌وسیله‌ی Fe^{3+} از خاک جایگزین می‌شود و Zn^{2+} در شکل غیرکیلاتی باقی مانده و در معرض ته‌نشینی قرار می‌گیرد:



$$\text{Zn} - \text{chelate}^{-1} + \text{Fe}^{3+} \rightleftharpoons \text{Fe} - \text{Chelate} + \text{Zn}^{2+}$$

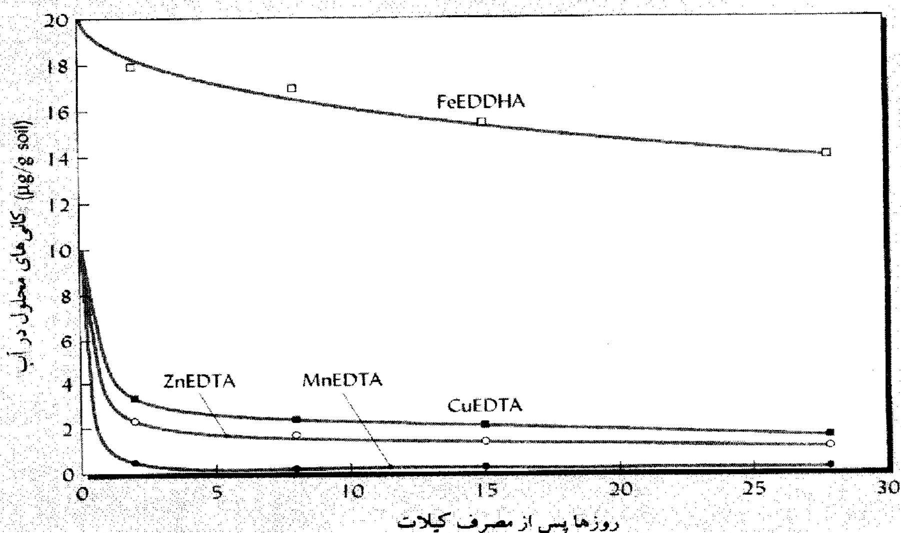
از آن‌جاکه کیلات آهن پایدارتر از کیلات روی است، واکنش به‌سمت راست خواهد رفت و یون روی آزادشده در معرض واکنش با خاک قرار خواهد گرفت. به‌همین ترتیب کلسیم می‌تواند سبب خارج‌شدن عناصر کم‌مصرف از کیلات گردد. گرچه ثابت پایداری برای کیلات کلسیم معمولاً کم است، ولی در عمل از آن‌جاکه غلظت Ca^{2+} در محلول خاک بسیار بالاتر از غلظت سایر عناصر کم‌مصرف می‌باشد، کلسیم می‌تواند دیگر عناصر کم‌مصرف را از کیلات خارج سازد.

جدول ۱۴-۱۵ ثابت‌های پایداری (K) برای عوامل کیلاته‌کردن انتخاب مشخص و کاتیون‌های مغذی:

ثابت‌های پایداری به‌صورت لگاریتمی داده شده‌اند، بنابراین یک عدد تفاوت (۱)بیانگر ۱۰ برابر اختلاف در پایداری است. در جدول عنصر غذایی پرمصرف کلسیم نیز ضمیمه شده است زیرا یک کاتیون فلزی است که معمولاً دارای بزرگ‌ترین فعالیت در محلول خاک می‌باشد. بنابراین کلسیم با کاتیون‌های عناصر کم‌مصرف بر سر جاهای پیوند در عامل کیلاتی رقابت می‌کند. قیمت نسبی عوامل کیلات‌کننده هم در جدول آمده است.

عامل کیلات‌کننده	Log K						قیمت نسبی درمقایسه با گلوکنات آهن براساس قیمت ۱۹۸۹
	Fe^{3+}	Fe^{2+}	Zn^{2+}	Cu^{2+}	Mn^{2+}	Ca^{2+}	
EDTA	۲۵	۱۴/۲۷	۱۴/۸۷	۱۸/۷	۱۳/۸۱	۱۱/۰	۴/۴
EDDHA	۳۳/۹	۱۴/۳	۱۶/۸	۲۳/۹۴	–	۷/۲	۴۳
HEEDTA	۱۹/۶	۱۲/۲	۱۴/۵	۱۷/۴	۱۰/۷	۸	۵/۵
Citrate	۱۱/۲	۴/۸	۴/۸۶	۵/۹	۳/۷	۴/۶۸	–
Gluconate	۳۷/۲	۱/۰	۱/۷	۳۶/۶	–	۱/۲۱	۱

نباید استنتاج کرد که فقط کیلات آهن مؤثر است. کیلات سایر عناصر کم‌مصرف از جمله روی، منگنز، و مس به‌طور موفقیت‌آمیز برای تأمین این عناصر غذایی به‌کار برده شده‌اند (شکل ۱۵-۱۵). جایگزینی سایر عناصر کم‌مصرف در کیلات به‌وسیله‌ی آهن خاک چنان آهسته است که امکان جذب آن‌ها را به گیاه می‌دهد. به‌علاوه، به‌دلیل محلول‌پاشی و مصرف نواری در تأمین روی و منگنز امکان واکنش این عناصر در کیلات با آهن و کلسیم خاک می‌تواند کاهش یافته و یا ازبین رود.



شکل ۱۵-۱۵ کاهش قابلیت انحلال چهار کیلات عناصر کم‌مصرف وقتی در ۴ خاک آهکی با pH بالاتر از ۸ مصرف شدند. ثابت پایداری در جدول۴-۱۵، رفتار این ۴ کیلات عناصر کم‌مصرف را که در شکل نشان داده شده‌اند توضیح می‌دهد. کیلات آهن در این خاک‌ها از همه پایدارتر بوده و کیلات منگنز کمترین پایداری را دارد. به‌خاطر مقادیر اندکی که گیاهان به آن نیاز دارند، حتی کیلات‌های مس و روی نیز احتمالاً عنصر کم‌مصرف لازم برای جذب گیاهی فراهم می‌کنند.

به‌رغم گرانی بسیار، استفاده از کیلات‌های مصنوعی در کشورهای صنعتی بسیار قابل‌توجه است آن‌ها عمدتاً برای اصلاح کمبودهـا در درختان میوه و گیاهان زینتی مورد استفاده‌اند. گرچه ممکن است کیلات جایگزین روش‌های مرسوم تأمین اکثر عناصر کم‌مصرف نگردد، اما امکانی را در موارد خاص ارائه می‌دهد. بعضی از کیلات‌کننده‌ها در کودهای ریزمغذی(عناصر کم‌مصرف) مورد استفاده قرار گرفته‌اند، مانند گلوکنات[1]، که به‌طور طبیعی موجودبوده و می‌تواند عناصرکم‌مصرف خاص را بسیارارزان‌تر از ترکیبات آمینوپلی‌کربوکسیلات[2] (برای نمونه EDDHA) تأمین کند. به‌نظر می‌رسد که تحقیقات کشاورزی و شیمیایی برای افزایش امکاناتی در استفاده مؤثر کیلات‌ها ادامه داشته باشد.

به‌علاوه ممکن است با انتخاب ارقام گیاهی که ریشه آن‌ها عامل کیلاتی‌کردن مخصوص به‌خود را تولید می‌کند، و انجام عملیـاتی کـه تولید عامل‌های کیلاتی‌کردن طبیعی را از تجزیه ماده‌ی آلی تقویت می‌کنند، از پدیده کیلاتی‌کردن برای بهبود حاصلخیزی عنصر کم‌مصـرف در خاک‌ها کمال بهره‌برداری را به‌عمل آورد.

۱۵-۷ عوامل مؤثر در قابلیت استفاده‌ی آنیون‌های کم‌مصرف

برخلاف کاتیون‌های کم‌مصرف که همگی در مقادیر جزیی موردنیاز گیاهان می‌باشند. عناصـر کـم‌مصـرف آنیـونی از تشـابه کمتـری برخوردارند. کلر، مولیبدون و بُر از نظر شیمیایی کاملاً متفاوت بوده و مشابهت کمتری در واکنش آن‌ها با خاک قابل‌انتظار است.

کلر

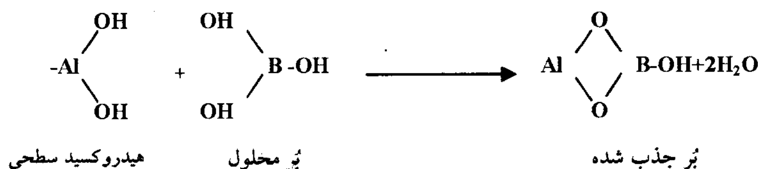
این آنیون به‌مقدار زیادی (زیادتر از تمام عناصر کم‌مصرف به‌استثنای آهن) به‌وسیله‌ی اکثر نباتات زراعی جذب می‌شود. بخـش اعظـم کلر در خاک به‌صورت ین کلرید است که نسبتاً آزادانه از خاک‌های مناطق مرطوب آبشویی می‌گردد. درمناطق خشک و نیمه‌خشک غلظـت بیشتری از آن در خاک قابل‌انتظار است، تا جایی‌که غلظت در خاک‌های شور دارای زه‌کشی ضعیف به حد سمیت می‌رسد. هرچند در اکثـر مناطق با زه‌کشی مناسب نباید غلظت زیاد کلر را در خاک‌های سطحی مناطق خشک انتظار داشت.

شرایط معمول خاک (به‌استثنای خاک‌های شور) درکاهش قابلیت استفاده و مصرف این عنصر نقشی ندارنـد. جمـع‌آوری کلـر نیـوار همراه با کلر موجود درکودهای شیمیایی مانند کلرور پتاسیم، برای برآورد نیازهای اکثر گیاهان کافی می‌باشد. هرچند عکس‌العمل نبـات بـه مصرف کلر برای گندم زمستانه مشخص شده است و به‌نظر می‌رسد به‌علت کاهش امراضی مانند" پـاخوره"[3] باشـد. نخـل‌هـای گرمسـیری سازگاریافته در خاک‌های ساحلی که در آن‌جا اقیانوس کلر زیادی را پاشش می‌کند درصورت کاشت درخاک‌های دارای میـزان کلـر کـم، علایم کمبود کلر را نشان می‌دهند مقادیر زیاد کلر می‌تواند میزان رشد و کیفیت بعضی از نباتاتی به‌خصوص نباتات از خانواده Solanacae (گوجه‌فرنگی و غیره) را کاهش دهد.

بُر

یکی از معمول‌ترین عناصر کم‌مصرف دارای کمبود است. قابلیت استفاده بُر در ارتباط با pH خاک است ایـن عنصـر در خـاک‌هـای اسیدی دارای بیشترین قابلیت استفاده بوده و درعین‌حال در خاک‌های شنی اسیدی نسبتاً به‌آسانی آبشویی می‌شود. بنـابراین بـه‌رغـم آن‌کـه کمبود بُر در خاک‌های شنی اسیدی تقریباً معمول است، علت آن عمدتاً به‌دلیل عرضه پایین بُر کل در خاک بوده و مربوط قابلیت اسـتفاده‌ی پایین بُر موجود در خاک نمی‌باشد.

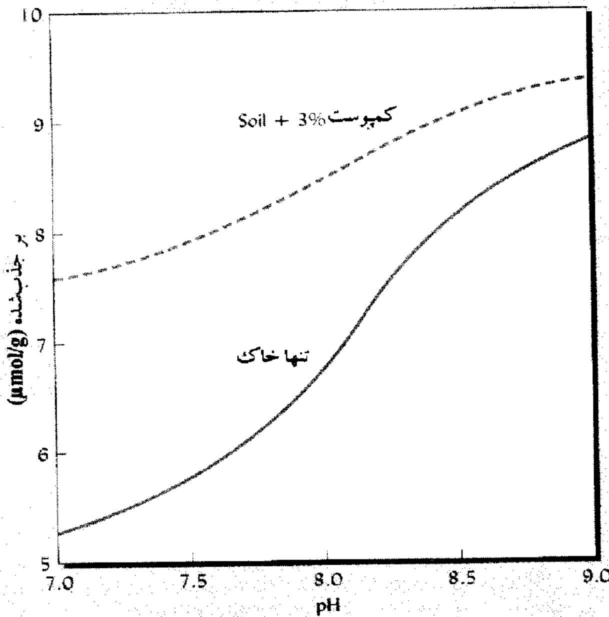
بُر محلول در خاک‌ها عمدتاً به‌صورت اسید بوریک $[B(OH)_3]$ ویا $B(OH)_4^-$ می‌باشد. این ترکیبات می‌توانند با گروه‌های OH در لبه، و یا سطح کانی‌ها دارای بار متغیر، مانند کائولینیت و مخصوصاً اکسیدهای آهن و آلومینیوم، مورد تبادل قرار گرفته و واکنش‌هـایی هماننـد زیر صورت گیرد:



[1]- Gluconate
[2]- Aminopolycarboxylate
[3]- Take all

بُر که چنین جذب شده، در پیوند بسیار محکمی قرار داشته، به‌خصوص در pH بین ۷ و ۹ که دامنه‌ی کمترین قابلیت استفاده این عنصر می‌باشد، این امر شاید به‌دلیل کمبود بر ناشی از آهک در بعضی از خاک‌ها با افزایش pH به ۷ و بالاتر باشد.

بُر همچنین به‌وسیله‌ی هموس در جذب سطحی قرار می‌گیرد. قدرت پیوند آن‌ها حتی از کلوییدهای معدنی بیشتر است. بُر همچنین یک جزء از ماده‌ی آلی خاک است که به‌وسیله‌ی معدنی‌شدن میکروبی آزاد می‌شود. درنتیجه، ماده‌ی آلی به‌عنوان یک مخزن عمده بر در بسیاری از خاک‌ها ایفای نقش نموده و مدیریت قابل‌ملاحظه‌ای بر روی قابلیت استفاده این عنصر غذایی اعمال می‌کند. جذب بُر به‌وسیله‌ی کلوییدهای آلی و معدنی با بالارفتن pH افزایش می‌یابد (شکل ۱۶-۱۵).

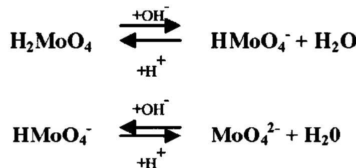


شکل۱۶-۱۵ اثر ماده‌ی آلی(در این آزمایش به‌صورت کمپوست اضافه شده است) و pH خاک بر روی جذب بُر. علاوه بر رس ترکیبات هومیکی در ماده‌ی آلی تجزیه شده، بُر را جذب می‌کنند. ظرفیت جذب رس و ترکیبات هومیکی با افزایش pH در دامنه‌ی خنثی تا قلیایی افزایش می‌یابد. درحالی‌که جذب بُر غلظت آن را در محلول خاک، و درنتیجه قابلیت استفاده آن را به‌وسیله‌ی نبات، کاهش می‌دهد و از هدررفت بُر براثر آبشویی جلوگیری می‌کند. این مطالعه در زیر گروه Calcic Haploxeralfs انجام گرفته است.

قابلیت استفاده بُر در اثر دوره‌های خشک طولانی به‌خصوص به‌دنبال دوره‌هایی با شرایط بهینه‌ی رطوبت صدمه می‌بینند. این شاید مربوط به این واقعیت باشد که جذب بُر معمولاً براثر جریان آب تبخیری باشد تا انتقال فعال یُن که درمورد اکثر عناصر کم‌مصرف معمول است. شرایط خشک هم ممکن‌است معدنی‌شدن بُر نگهداری‌شده در شکل آلی را در دوره‌های خشک کاهش دهد. کمبود بُر همچنین در خاک‌های اریدی‌سول آهکی و خاک‌های خنثی تا قلیایی با pH بالا معمول است.

مولیبدون

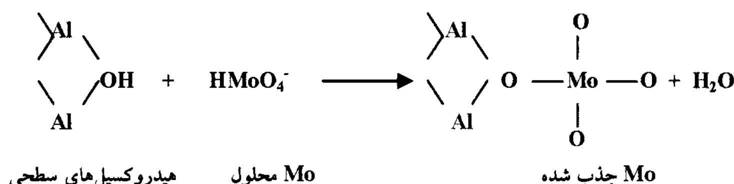
pH خاک مهم‌ترین عامل مؤثر در قابلیت استفاده و جذب مولیبدون به‌وسیله‌ی نبات است. واکنش‌های زیر نشان‌دهنده‌ی اشکال این عنصر در pH بالا و پایین خاک می‌باشد.



$$H_2MoO_4 \underset{+H^+}{\overset{+OH^-}{\rightleftharpoons}} HMoO_4^- + H_2O$$

$$HMoO_4^- \underset{+H^+}{\overset{+OH^-}{\rightleftharpoons}} MoO_4^{2-} + H_2O$$

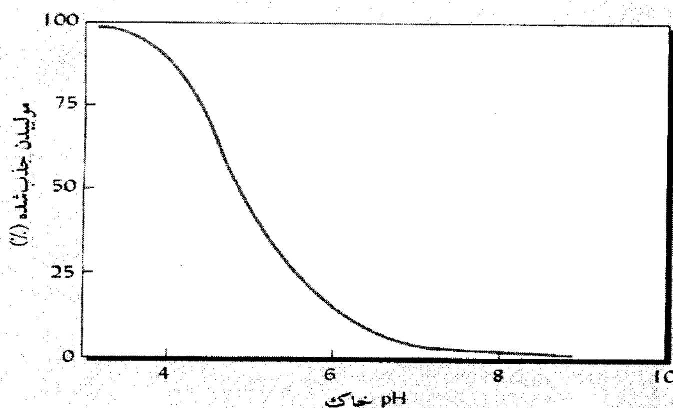
در سطوح pH پایین، مولیبدن به‌وسیله‌ی رس‌های سیلیکاتی و به‌ویژه با اکسیدهای آهن و آلومینیوم با تبادل یُن‌های هیدراکسیل در سطح ذرات کلوییدی جذب می‌شود و واکنش‌هایی به شکل زیر صورت می‌گیرند:



آهک‌دادن خاک‌های اسیدی معمولاً سبب افزایش قابلیت استفاده‌ی مولیبدون می‌شود(شکل ۱۷-۱۵). اثر چنان چشم‌گیر است که بعضی از محققین، به‌خصوص در استرالیا و زلاندنو، استدلال می‌کنند که دلیل اصلی برای آهک‌دادن خاک‌های خیلی اسیدی تأمین مولیبدون می‌باشد. گرچه در بعضی موارد، اضافه‌کردن فقط ۳۰ گرم مولیبدون به خاک‌های اسیدی همان اثر مصرف چند تن آهک را در افزایش عملکرد سبب شده است.

به‌نظر می‌رسد که فسفات در رقابت باین مولیبدات برای به‌دست‌آوردن محل‌های جذب در سطح کلوییدهای خاک سبب بهبود قابلیت استفاده‌ی مولیبدون می‌گردد. به این دلیل، نمک مولیبدات اغلب همراه با مواد حامل فسفات در خاک‌های دارای کمبود مولیبدون مصرف می‌شود. این روش ظاهراً جذب هر دو عنصر را در نبات تقویت نموده و روش مطمئنی برای اضافه‌کردن مقادیر فوق‌العاده اندک مولیبدون موردنیاز نبات می‌باشد. بذرهای نیام‌داران براثر پوشش‌دادن با مخلوط سوپرفسفات و مولیبدات سدیم برای بهبود کیفیت چرا در اراضی اسیدی مرتعی ساوانا به‌طور موفقیت‌آمیزی مورد استفاده قرار گرفته است.

به‌نظر می‌رسد که دومین آنیون معمول در خاک‌ها یعنی یون سولفات اثر مخالفی را بر استفاده نبات از مولیبدون داشته باشد، سولفات سبب کاهش جذب مولیبدون گردیده، و به‌نظر می‌رسد با مولیبدون برای به‌دست‌آوردن محل‌های عامل در ترکیبات سوخت‌وسازی نبات رقابت داشته باشد.



شکل ۱۷-۱۵ اثر pH برروی جذب مولیبدون در یک خاک شن لومی سری هسپریا در کالیفرنیا. جذب بالا در مقادیر کم pH سبب کمبود مولیبدون می‌شود. به‌همین ترتیب در مقادیر بالای pH مولیبدون جذب نشده و برای جذب به‌وسیله‌ی نبات در بعضی مواقع تا حد سمیت آزاد می‌باشد.

سلنیم

مدیریت سلنیم در خاک‌ها و نباتات برای سلامت انسان و احشام در بسیاری از مناطق دنیا لازم می‌باشد. این امر ساده نیست زیرا در طبیعت سلنیم در ۴ شکل جامد وجود دارد، سلنات SeO_4^{-2}، سلنیت (SeO_3^{-2}) سیلنیم عنصری (Se^0) و سلنید (Se^{-2}). سلنیم همچنین در ترکیبات فرار مانند دی‌متیل‌سلنید و دی‌متیل‌دی‌سلنید که می‌توانند به‌صورت گاز به نیوار تصعید گردند، وجود دارد.

در شرایط اسیدی(۶/۵ – ۴/۵)pH شکل سلنیت غالب است. این شکل به‌دلیل جذب به‌وسیله‌ی اکسیدهای آهن، با تأنی قابل‌استفاده می‌باشند. سلنیت‌ها را می‌توان برای تسکین کمبود سلنیم مورد استفاده قرار داد، هرچند به‌نظر نمی‌رسد آن‌ها سبب ایجاد مسمومیت سلنیم گردند. در pH بالاتر از ۸/۵ – ۷/۵ و در خاک‌هایی با تهویه‌ی خوب، سلنات محلول‌تر غالب بوده و ایجاد سمیت می‌کند. در شرایط غیرهوازی، ریزجانداران می‌توانند سلنات و سلنیت را به سلنید و سلنیم عنصری جامد احیا کنند[1]، که هردو آن‌ها غیرمحلول هستند. از این امر می‌توان برای حذف سلنیم محلول در آب و خاک بهره گرفت، که یک فرایند نویدبخش بوده که به آن حذف سمیت از طریق زیستی[2] گویند. در آب‌های دارای سلنیم که در مخازن دارای پوشش گیاهی و یا در اراضی باتلاقی نگهداری می‌شوند، احیا صورت گرفته و سلنیم غیرمحلول در ته استخر جایگزین می‌شود درصورت زه‌کشی، شرایط هوازی غالب شده و باعث اکسایش مجدد سلنیم به ترکیبات بسیار محلول‌تر می‌شود که می‌تواند سمیت ایجاد کند. به‌علاوه در استخرها گیاهان تغذیه‌کننده‌ی کف‌زی حتی می‌توانند مقداری از سلنیم را در اشکال احیاشده‌ی غیرمحلول برداشت کنند این سبب جایگزینی سلنیم در زنجیره‌ی غذایی می‌شود که باعث صدماتی به حیوانات وحشی، و هم حیوانات اهلی که این نباتات را مصرف می‌کنند، می‌گردد.

[1]- تحقیقات جدید نشان داده‌اندکه احیاء غیرزیستی سلنات نیز در حضور هیدراکسیدهای فرو و فریک صورت می‌پذیرد $[Fe(II)_a\ Fe(III)_b\ (OH)_{12}]X.\ 3H_2O$ (که در آن a =۱-٤ و b =۱-۲ و X یک آنیون مانند سلنات SeO_4^{-2} میباشد) یک ترکیب که به اسم زنگ سبز نامیده میشود و در خاکهای غرقابی مشاهده میشود

[2]- Bioremediation

احیا میکروبی همچنین سبب تولید ترکیبات فرار می‌شود (برای مثال دی‌متیل‌سلنید) که می‌تواند به نیوار آزاد گردد، گازها به‌طور نسبی برای نبات غیرسمی بوده و می‌توانند به‌سرعت از مناطق دارای سلنیم زیاد به سایر نقاط، که دارای کمبود سلنیم می‌باشند حرکت کنند. به این دلیل، ایجاد ترکیبات فرار سلنیم به‌عنوان وسیله‌ای برای کاهش سطح سمیت سلنیم در آب و خاک موردملاحظه قرار گرفته است.

۸-۱۵ نیاز به تعادل عناصر غذایی

حفظ تعادل در بین عناصر کم‌مصرف اساسی است، اما نگهداری آن به مراتب مشکل‌تر از تعادل در بین عناصر پرمصرف می‌باشد. بعضی از سامانه‌های آنزیمی که وابسته به عناصر کم‌مصرف می‌باشند، نیازمند به بیش از یک عنصر می‌باشند. برای نمونه هر دو عنصر مولیبدون و منگنز برای هضم و جذب نیترات به‌وسیله‌ی نباتات لازم می‌باشند. اثرات سودمند ترکیب فسفات و مولیبدون قبلاً موردبحث قرار گرفت. ظاهراً بعضی از نباتات نیازمند روی و فسفر برای استفاده‌ی بهینه از منگنز می‌باشند. استفاده از بُر و کلسیم در رابطه با تعادل مناسب بین این دو عنصر غذایی است. رابطه‌ی مشابهی بین پتاسیم و مس، و بین پتاسیم و آهن در تولید سیب‌زمینی مرغوب موجود است. استفاده از مس نیازمند منگنز کافی است که در بعضی نباتات فقط وقتی جذب و هضم می‌شود که روی در مقادیر کافی وجود داشته باشد. البته، اثرات این عناصر غذایی و دیگر عناصر وابسته به نبات خاص کشت‌شده خواهد بود، اما پیچیدگی موضوع را با توجه به مثال‌های ارائه شده می‌توان مشاهده نمود.

ناهمسازی و همسازی عناصر غذایی[1]

بعضی از واکنش‌های آنزیمی و زیست‌شیمیایی نیازمند به یک عنصر کم‌مصرف، ممکن است با حضور عنصر غذایی کم‌مصرف دیگر در حد سمیت مسموم گردند. سایر اثرات منفی براثر رقابت یک عنصر با عنصر دیگر، و کاهش جذب آن به‌وسیله‌ی ریشه نبات صورت می‌پذیرد. از طرف دیگر ممکن است ... بین مناسب یک عنصر غذایی به‌خصوص سبب ارتقاء استفاده از عنصر دوم گردد که تحت واژه اثرات[2] همساز نامیده شده است. بعضی از این اثرات متقابل در جدول ۵-۱۵ خلاصه شده‌اند.

ممکن است بعضی از اثرات ناهمساز[3] برای کاهش سمیت عناصر کم‌مصرف خاص به‌طور مؤثر مورد استفاده قرار گیرد. برای نمونه، سمیت مس در باغ مرکبات که براثر مس باقیمانده از مصرف قارچ‌کش‌های پاششی حاصل می‌شود ممکن است با اضافه‌کردن کودهای آهن و فسفات‌دار به آن کاهش یابد. ممکن است افزودن گوگرد به خاک‌های آهکی دارای مقادیر مولیبدون درحد سمی قابلیت استفاده، و بنابراین سمیت مولیبدون را کاهش دهد. تراکم بیش‌ازحد فسفر، منگنز و منیزیم در گیاهان دارای کمبود روی، مثالی از برهمکنش پیچیده‌ای دربین عناصر اساسی بوده که در تغذیه نبات مؤثر می‌باشد.

جدول ۵-۱۵ بعضی از اثرات ناهمساز(منفی) و همساز(مثبت) عناصرغذایی بر استفاده از عناصر کم‌مصرف به‌وسیله‌ی نبات وجود این برهم‌کنش تاکید براحتیاج به حفظ تعادل درمیان تمام عناصر غذایی، و اجتناب از مصرف بیش ازحد یک عنصر خاص می‌باشد.

عنصر کم‌مصرف	عناصری که استفاده را کاهش می‌دهند		عناصری که استفاده را افزایش می‌دهند	
	واکنش‌های خاک و سطح ریشه	واکنش‌های سوخت‌وساز	واکنش‌های خاک و سطح ریشه	واکنش‌های سوخت‌وساز
Fe	B, Cu, Zn, Mo, Mn	Mn, Mo, P, S, Zn	B, Mo	--
Mn	Fe , B	Fe	B	--
Zn	Mg, Cu, B, Fe, P	Fe, N	N, B	Fe, Mg
Cu	B, Zn, Mo	P, N,Ca,Mg	B	--
B	Ca, K	--	--	N
Mo	S, Cu	S	P	P
Ni	Ca, Fe	Fe, Zn	--	--

این نمونه‌ها از برهمکنش عناصر غذایی مثبت و یا زیان‌بار، بر طبیعت بسیار پیچیده تغییر شکل‌های زیستی، که در آن‌ها عناصر کم‌مصرف شرکت دارند، تاکید دارد. مساحت کل اراضی، که در آن‌ها تعادل‌های غیرمطلوب عناصر غذایی، به‌دلیل انجام زراعت‌های پرنهاده‌ی متمرکز در خاک‌ها نیازمند مرمت خاص است، درحال افزایش می‌باشد.

---

[1]- Antagonism & Synergism
[2]- Synergistic effects
[3]- Antagonistic effects

۹-۱۵ مدیریت خاک و نیازهای عناصر کم‌مصرف

با وصف این‌که خصوصیات هر عنصر کم‌مصرف کاملاً مشخص می‌باشد، یک جمع‌بندی کلی باتوجه به عملیات مدیریتی امکان‌پذیرست.

در جستجوی علت غیرعادی‌بودن نبات باید شرایطی را که در آن کمبود و یا سمیت عناصر کم‌مصرف احتمالاً صورت می‌پذیرد در نظر داشته باشیم. به احتمال زیاد کمبود عناصر کم‌مصرف در خاک‌های شنی، ماک و خاک‌هایی که دارای مقادیر pH خیلی پایین و یا خیلی بالا می‌باشند ایجاد خواهدشد. ممکن است مناطق دارای زراعت پرنهاده با مصرف سنگین کودهای حاوی عناصر پرمصرف در عناصر کم‌مصرف کمبود داشته باشند.

تغییرات در اسیدیته خاک

در خاک‌های خیلی اسیدی باید انتظار سمیت آهن، منگنز و کمبود فسفر و مولیبدون را داشت. این مسایل می‌توانند با مصرف آهک و اضافه‌نمودن کودهای شیمیایی مناسب اصلاح گردند. ممکن است خاک‌های آهکی دارای کمبود آهن، منگنز، روی و مس، و در مواردی معدود، سمیت مولیبدون باشند.

نظر خاصی را در ارتباط با مناسب‌ترین مقدار pH برای تمام عناصر نمی‌توان ابراز داشت، هرچند خاک‌هایی با بافت متوسط هنگامی‌که pH آن‌ها در فاصله ۶ تا ۷ حفظ شود مقادیر کافی را از عناصر کم‌مصرف تأمین خواهند کرد. در خاک‌های شنی pH نسبتاً کمتر قابل‌توجیه است. زیرا مقدار کل عناصر کم‌مصرف پایین می‌باشد. ممکن است حتی در pH ۶ کمبود بعضی از کاتیون‌ها رخ دهد. مهم این است که باید برای تشخیص افزایش ناخواسته‌ی pH خاک همانند آن‌چه که از استعمال لجن فاضلاب پایدار شده (با مصرف آهک) (فصل ۱۶)، و یا آبشویی سنگ‌ریزه‌ها و پیاده‌روهای آهکی حاصل می‌شود، هشیار و آماده بود (شکل ۸-۱۵ را مشاهده کنید).

رطوبت خاک

زه‌کشی و تنظیم رطوبت می‌توانند در پایداری عناصر کم‌مصرف در خاک‌ها مؤثر باشند. بهبود زه‌کشی خاک‌های اسیدی سبب تشکیل اشکال اکسیدشده‌ی آهن و منگنز می‌گردد، که کمتر محلول بوده و در شرایط اسیدی بسیار کمتر از اشکال احیاشده سمی می‌باشد. غرقاب‌کردن خاک سبب احیای اشکال آهن و منگنز خواهد شد که برای گیاهان دارای قابلیت استفاده بیشتری می‌باشند(شکل۱۸-۱۵). رطوبت اضافی در pH بالا دارای اثرات عکس است. زیرا خاک‌های با زه‌کشی ضعیف دارای غلظت بالایی از گازکربنیک می‌باشند که ایجاد یون‌های بی‌کربنات را تقویت نموده و سبب کاهش قابلیت استفاده آهن خواهند شد. زه‌کشی ضعیف سبب افزایش قابلیت استفاده مولیبدون تا حد سمیت این عنصر برای نباتات در بعضی از خاک‌های قلیایی می‌گردد.

مصرف کود شیمیایی

به‌نظر نمی‌رسد کمبود عناصر کم‌مصرف در اکثر خاک‌ها، که در آن‌ها پس‌ماندهای گیاهی به خاک برگشت داده می‌شود و مواد اصلاح‌کننده مانند کود دامی و یا لجن فاضلاب به‌طور منظم استعمال می‌گردند، مسأله‌ای را ایجاد کند. کود دامی مورد استفاده به‌میزان کافی برای تأمین نیازهای عناصر پرمصرف، دارای مقادیر کافی مس، روی، منگنز و آهن نیز برای تأمین بخش عمده نیازهای عناصر کم‌مصرف در خود می‌باشد (جدول۹-۱۶ رامشاهده کنید). به‌علاوه کیلات ایجادشده از کود دامی سبب ارتقای قابلیت استفاده این عناصرکم‌مصرف می‌شود.

با این وصف معمول‌ترین عملیات مدیریتی برای غلبه بر کمبود عناصر کم‌مصرف (و بعضی سمیت‌ها) مصرف کود شیمیایی است. نمونه‌های از انواع کودهای شیمیایی برای تأمین عناصر کم‌مصرف در جدول ۶-۱۵ آمده است. این مواد به‌طور معمول در خاک استعمال می‌گردند. گرچه پاشیدن برگی[1]، و حتی آغشته‌کردن بذر نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. پاشیدن برگی نمک‌های رقیق معدنی و یا کیلات‌های آلی بسیار مؤثرتر از مصرف آن‌ها در خاک است که در آن pH بالا وسایر عوامل سبب غیرقابل‌استفاده‌بودن عناصر غذایی مصرف‌شده می‌گردند.

در استعمال کود در خاک به‌طور نواری حدود ۱/۴ تا ۱/۲ میزان کود شیمیایی مورد مصرف در توزیع دستی موردنیاز است (شکل ۲۵-۱۶ را مشاهده کنید). و حدود ۱/۱۰ تا ۱/۵ میزان کود شیمیایی مورد مصرف توزیع دستی در پاشش برگی لازم می‌باشد، هرچند مصرف برگی ممکن است نیازمند مصرف کود در چندین بار در سال باشد. آغشته نمودن بذر با میزان اندک (۴۰ – ۲۰ گرم در هکتار) مولیبدون سبب کسب نتایج رضایت‌بخش در خاک‌های اسیدی دارای کمبود مولیبدون گردیده است. میزان مصرف عناصر کم‌مصرف در خاک در جدول ۷-۱۵ آمده است.

---

[1]- Foliar application

عناصر کم‌مصرف می‌توانند هم به‌صورت مواد جداگانه و یا با مخلوط‌کردن با کودهای استاندارد عناصر پرمصرف در خاک استعمال گردند. متأسفانه قابلیت انحلال مس، آهن، منگنز و روی با این مخلوط‌کردن کاهش خواهد یافت، اما بُر و مولیبدون به‌صورت محلول به‌طور معقول باقی خواهند ماند. کودهای شیمیایی مایع عناصر پرمصرف حاوی پلی‌فسفات سبب ایجاد همتافت‌هایی خواهند شد که عناصر کم‌مصرف اضافه‌شده را از واکنش منفی حفظ می‌کند. در عمل پلی‌فسفات‌ها در محلول کودی همانند یک عامل کیلاتی عنصر کم‌مصرف عمل می‌کنند مهره‌های شیشه‌مانند متخلخل با سطح مخصوص زیاد که فریتس[1] و یا خمیر شیشه نامیده می‌شوند با مخلوط‌کردن بُر، مس، روی و سایر عناصر کم‌مصرف با شیشه در کارخانه ساخته می‌شود. این مواد گداخته‌شده عناصر کم‌مصرف خود را وقتی در خاک در معرض هوادیدگی قرار می‌گیرد با تأنی آزاد می‌کنند. این کُندی آزادشدن از پاره‌ای مسایل مانند ترسیب و یا جذب عناصر به‌وسیله‌ی کلویید به‌خصوص در خاک‌های قلیایی جلوگیری می‌کند.

پاسخ اقتصادی به مصرف عناصر کم‌مصرف، با توجه به گسترش نظام تولید متراکم پرنهاده درحال افزایش است. برای نمونه پاسخ میوه‌ها، سبزی‌ها و محصولات مزرعه‌ای به مصرف روی و آهن در خاک‌های خنثی و قلیایی معمول می‌باشد. حتی در خاک‌های اسیدی با کمبود این عناصر به‌طور مداوم مواجه می‌باشیم. مولیبدون، که در بعضی موارد برای گیاهان علوفه‌ای، کلم گل و سایر سبزی‌های مورد استفاده بوده است در سال‌های اخیر برای خزانه‌های درختان جنگلی و سویا، به‌خصوص در خاک‌های اسیدی مورد توجه قرار گرفته است. این مثال‌ها، همراه با مثال‌هایی از مناطق دارای ماک و خاک‌های شنی که عناصر کم‌مصرف برای دهها سال در آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند، نیاز به این عناصر را برای حفظ عملکرد بهینه آشکار می‌سازند.

یک خاک اغلب سبب بروز یک کمبود در بعضی از نباتات شده اما در بقیه نباتات کمبودی ایجاد نمی‌کند. گونه‌های گیاهی و ارقام موجود در یک گونه از نظر حساسیت به کمبود عناصر کم‌مصرف، و یا سمیت آن‌ها متفاوت می‌باشند جدول۷-۱۵ نمونه‌هایی از گونه‌های گیاهی را که از نظر حساسیت و یا مقاومت به عناصر کم‌مصرف مختلف شناخته شده می‌باشند، ارائه می‌کند.

اختلافات چشم‌گیر و نیاز محصولات زراعی به عناصر کم‌مصرف سبب می‌شود که کوددادن در جاهایی که تناوب اعمال گردد پرمسأله باشد. در مزارع با محصولات عمومی، سبزی‌ها در بعضی مواقع در تناوب با زراعت غلات دانه‌ریز و علوفه می‌آید. اگر مصرف بُر برای سبزی‌هایی مانند لبو و حتی یونجه کافی باشد. زراعت غلات دانه‌ریز که در تناوب به آن‌ها کشت می‌شود ممکن است صدمات ناشی از سمیت را بروز دهد. این واقعیات احتیاج به تعیین نیازهای غذایی محصولات را به‌طور اختصاصی، و احتیاط لازم را برای برآورد این نیازها، مورد تأیید قرار می‌دهند.



شکل ۱۸-۱۵ سمیت منگنز در نباتات جوان پنبه که براثر رطوبت خاک در سه هفته قبل از کاشت بذر پنبه تحت تأثیر قرار گرفته است. علامت پیچیدگی برگ و رشد متوقف شده براثر مقادیر سمی منگنز در خاکی است که قبل از کشت غرقاب گردیده بود. مقدار رطوبت هر دو ظرف از کاشت تا برداشت در ظرفیت مزرعه نگهداری شده است. خاک جک لند(اکویک هاپلودولت) مورداستفاده دارای کانی‌های حاوی منگنز بوده ودارای pH آن حدود ۵/۸ می‌باشد.

[1]- Frits

جدول۶-۱۵ کودهای شیمیایی معمول مورد استفاده در تأمین عناصر کم‌مصرف

عنصر کم‌مصرف	کود مورد استفاده معمول و فرمول شیمیایی آن		درصد عناصر
بر	بوراکس	$Na_2 B_4O_7 . 10H_2O$	۱۱
بر	سدیم پنتابورات	$Na_2 B_{10}O_{16} . H_2O$	۱۸
مس	سولفات مس	$CuSO_4 . 5H_2O$	۲۵
آهن	سولفات فرو	$FeSO_4 . 7H_2O$	۱۹
آهن	کیلات‌های آهن	NaFe EDDHA	۶
منگنز	سولفات منگنز	$MnSO_4 . 3H_2O$	۲۶-۲۸
منگنز	اکسید منگنز	MnO	۴۱-۶۸
مولیبدون	مولیبدات سدیم	$Na_2MoO_4 . 2H_2O$	۳۹
مولیبدون	مولیبدات آمونیوم	$(NH_4)_6 Mo_7O_{24} . 4H_2O$	۵۴
روی	سولفات روی	$ZnSO_4 . H_2O$	۳۵
روی	اکسید روی	ZnO	۷۸
روی	کیلات روی	Na_2Zn EDTA	۱۴

انتخاب و اصلاح نژاد

اختلافات در گونه‌های مختلف نباتی و یا گیاهان انفرادی در داخل یک گونه به تجمع عناصر کم‌مصرف، انتخاب و اصلاح نژاد را به‌عنوان روش مهم احتمالی برای غلبه بر کمبودها و زیادبود این عناصر مطرح می‌سازند. برای مثال بعضی از گونه‌های گون[1] و استانلیه[2] پنج‌برابر غلات مانند گندم و چاودار، سلنیم در خود تمرکز می‌دهند، همین‌طور سقز سیاه[3] *Nyassa sylvatica* جمع‌کننده‌ی کبالت است. پاک‌سازی زیستی[4] ممکن است از این جمع‌کنندگان در جداکردن عناصر کمیاب از داخل خاک آلوده استفاده کند (بخش ۶-۱۸ را مشاهده کنید). اختلافات مشابهی در مقاومت توارثی به کمبود مشاهده می‌شود. تحقیقات جدید مطرح می‌کنند که اصلاح نباتات و یا فناوری زیستی می‌تواند گونه‌های گیاهی انتخاب و یا ایجاد کند که به‌طور کارا عناصر کمیاب را جذب کرده و یا به مقادیر زیاد آن‌ها در خاک مقاوم باشد این امر نیاز به همکاری بیشتر را بین متخصصین نبات و خاک در مدیریت عناصر کم‌مصرف آشکار می‌سازد.

قابلیت استفاده عناصر کم‌مصرف

منابع عمده‌ی عناصر کم‌مصرف و واکنش‌های کلی که آن‌ها را برای نباتات عالی و ریزجانداران قابل‌استفاده می‌سازند، در شکل۱۹-۱۵ خلاصه شده است. کانی‌های اصلی و ثانویه منابع عمده این عناصر می‌باشند، هرچند تجزیه‌ی مواد آلی سبب آزادشدن یون‌های به‌داخل محلول خاک می‌گردد. عناصر کم‌مصرف به‌وسیله‌ی گیاهان عالی و ریزجانداران در فرایندهای مهم بقای زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرند. برداشت عناصر غذایی در محصولات زراعی و یا الوارهای برداشت شده، منابع یون‌های محلول را کاهش داده، و ممکن است لازم باشد با استفاده از کود دامی و یا کودهای شیمیایی برای جلوگیری از کمبود آن‌ها این عناصر کم‌مصرف جبران گردند.

1- *Astragalus*
2- *Stanlya*
3- Black gum
4- Bioremediation

جدول۷-۱۵ گیاهانی که اختصاصاً از نظر حساسیت و یا مقاومت به شرایط خاک در بروز کمبود عناصر کم‌مصرف، شناخته شده‌اند.

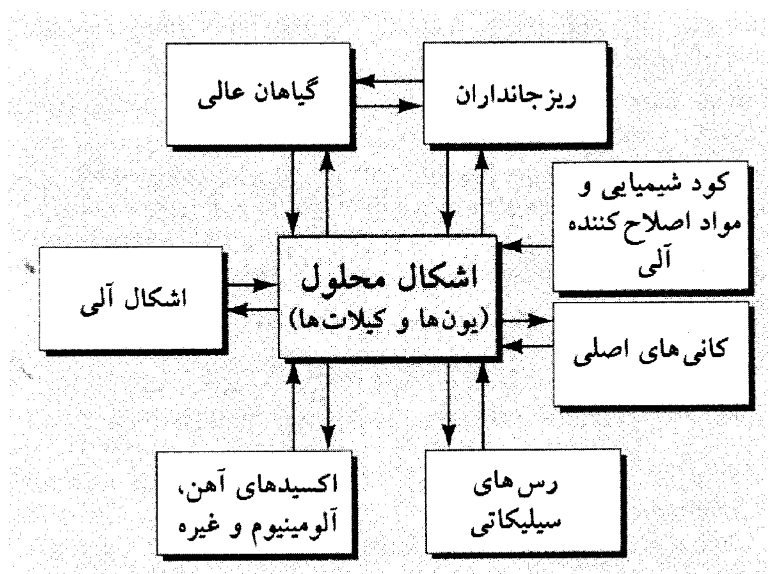
(گیاهانی که به کمبود یک عنصر کم‌مصرف بسیار حساس می‌باشند، اغلب دارای نیازمندی نسبتاً زیادی به آن عنصر می‌باشند و ممکن است به مقادیر زیاد آن عنصر کم‌مصرف که ایجاد سمیت می‌کند مقاوم باشند)

نوع عنصر کم‌مصرف	دامنه‌ی معمول در مقادیر پیشنهادی برای مصرف در خاک kg/ha *	گیاهانی که به‌طور معمول کمبود نشان می‌دهند (نیاز بالا و یا کارآیی جذب کمتر)	گیاهانی که به‌ندرت کمبود نشان می‌دهند (نیاز کم و یا دارای کارایی جذب بالا)	شرایط خاک که معمولاً در ارتباط با کمبود می‌باشد
آهن	۰/۵-۱۰	زغال‌اخته، آزالیا، گل سرخ، درخت خاس، انگور، درختان میوه هسته‌دار، افرا، لوبیا، ذرت علوفه، بلوط	گندم، یونجه، آفتاب‌گردان، پنبه	خاک‌های آهکی با pH بالا خاک‌های ماندابی قلیایی
منگنز	۲-۲۰	نخودها، یولاف، سیب. چغندرقند، تمشک، مرکبات	پنبه، سویا، برنج، گندم	خاک‌های آهکی با pH بالا. اراضی زه‌کشی شده. ماده‌ی آلی اندک. خاک‌های شنی
روی	۰/۵-۲۰	ذرت، پیاز، کاج‌ها، سویا، لوبیا، گردو امریکایی، برنج، هلو، انگور	هویج، مارچوبه، گلرنگ، نخود، بلوط، چیلیپاییان، علف‌ها	خاک‌های آهکی، خاک‌های اسیدی شنی، فسفر زیاد
مس	۰/۵-۱۵	گندم، ذرت، پیاز، مرکبات، کاهو، هویج	لوبیا، سیب‌زمینی، نخود، مرتع، چمن‌ها، کاج	خاک‌های هیستوسول، خاک‌های خیلی اسیدی شنی
بر	۰/۵-۵	یونجه، کلم گل، کرفس، انگور، سوزنی‌برگان، سیب درختی، بادام‌زمینی، چغندر، کلزا، کاج‌ها	جو. ذرت، پیاز، چمن، ذغال‌اخته، سیب‌زمینی، سویا	کمبود ماده‌ی آلی، خاک‌های اسیدی شنی، خاک‌های تازه‌آهک‌خورده، خاک‌های خشک، خاک‌های بارس ۲:۱ زیاد
مولیبدون	۰/۰۵-۰/۵	یونجه، شبدر شیرین، چلیپاییان (کلم بروکسل، کلم گل،) مرکبات، اکثر نیام‌داران	اکثر گیاهان گندمی	خاک‌های اسیدی شنی، خاک‌های خیلی هوازده با آهن و آلومینیوم بی‌شکل

* عدد پایین در این دامنه برای مصرف نواری و عدد بالا مربوط به مصرف دست‌پاش توزیعی می‌باشد.

مسایل مدیریت عناصر کم‌مصرف در مقیاس جهانی

کمبود عناصر کم‌مصرف در اکثر مناطق تولید کشاورزی و بعضی مناطق جنگلی آمریکا و اروپا مشخص شده و گزارش گردیده است. هرچند در بعضی از کشورهای درحال توسعه، به‌خصوص در مناطق حاره‌ای، گستره‌ی این کمبودها بسیار ناشناخته می‌باشد. معدودی تحقیقات مطرح می‌کنند که ممکن است اراضی وسیعی با کمبود و یا سمیت یک و یا چندین عنصر وجود داشته باشند. طرح‌های آبیاری که خاک‌های آهکی را در اراضی بیابانی را زیرکشت می‌آورند اغلب به کمبود آهن، روی، مس و منگنز مبتلا می‌شوند. کمبود مس و روی در خاک‌های خیلی هوازده در مناطق گرمسیر مرطوب و نیمه‌مرطوب در غلات مورد توجه قرار گرفته است. با رفع کمبود عناصر پرمصرف و بالارفتن مقدار عملکرد، کمبود هرچه‌بیشتر عناصر کم‌مصرف بدون‌شک در پیش‌رو خواهد بود. عامل دلگرم‌کننده این است که مقدار عناصر کم‌مصرف مورد نیاز اغلب کم بوده و سبب می‌شود حمل‌ونقل آن‌ها به نقاط دوردست درمقایسه با کودهای شیمیایی حاوی عناصر پرمصرف با هزینه‌ی بسیار کمتری انجام گیرد. اصول مدیریت استقراریافته برای کشورهای توسعه‌یافته‌ی اقتصادی احتمالاً برای رفع کمبودهای عناصر کم‌مصرف در کشورهای کمتر توسعه‌یافته نیز مفید می‌باشند.



شکل ۱۹-۱۵ نمودار منابع اشکال محلول عناصر کم‌مصرف در خاک و استفاده از آن‌ها به‌وسیله‌ی گیاهان و ریزجانداران در خاک

۱۰-۱۵ نتیجه‌گیری نهایی

اهمیت عناصر کم‌مصرف در کشاورزی در مقیاس جهانی، باتوجه به برداشت هرچه‌بیشتر این عناصر اساسی به‌وسیله‌ی محصولات، به‌طور مداوم درحال افزایش است. آزمون خاک و بافت‌های گیاهی تایید می‌کنند که این عناصر در مناطق گسترده‌ای عامل محدودکننده‌ی تولید محصولات بوده و توجه به آن‌ها در آینده احتمالاً افزایش خواهد یافت.

کمبود عناصر کم‌مصرف نه‌تنها به‌خاطر میزان اندک آن‌ها در خاک، بلکه به‌دلیل عدم قابلیت استفاده آن‌ها برای نبات نیز می‌باشد. آن‌ها به‌وسیله‌ی ترکیبات معدنی مانند اکسیدهای آهن و آلومینیوم جذب شده و همتافت‌هایی با مواد آلی ایجاد می‌کنند، که بعضی از آن‌ها به‌ندرت قابل‌جذب نبات می‌باشند. سایر همتافت‌های آلی که کیلات نامیده می‌شوند از جذب بعضی از عناصر کم‌مصرف به‌وسیله‌ی مواد معدنی جلوگیری کرده و آن‌ها را برای گیاهان قابل‌استفاده می‌سازند.

کمبود عناصر کم‌مصرف سبب رکود رشد نبات و حیوان می‌شود. برداشت این عناصر از آب و خاک، و یا غیرقابل استفاده ساختن آن‌ها برای گیاهان، یکی از چالش‌های عمده در برابر متخصصین خاک و نبات می‌باشد. در اکثر موارد، عملیات مدیریت خاک با اجتناب از بروز حدود نهایی pH با برگشت‌دادن پس‌ماندهای گیاهی و دادن کود دامی به مقدار بهینه در خاک، با ارتقای تولید کیلات‌ها به‌وسیله‌ی تجزیه

فعال ماده‌ی آلی، خطر کمبود و یا سمیت عناصر کم‌مصرف را به حداقل می‌رساند. اما نکات موردتوجه هرچه‌بیشتر موقعیت‌هایی هستند که مسایل عناصر کم‌مصرف می‌تواند عملاً با مصرف کودهای حاوی آن عناصر مرتفع گردد. عناصر کم‌مصرف درحال تبدیل‌شدن به بخشی از اجزاء معمول کودهای شیمیایی برای مصرف در مزرعه و باغچه‌های خانگی بوده، و احتمالاً در آینده حتی بیشتر از این دو مورد شرکت خواهند داشت.

سووالات برای مطالعه

۱- در طول یک سال، حدود ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن و فقط ۳۰ گرم مولیبدن به‌وسیله‌ی درختانی که در یک هکتار زمین کشت شده‌اند برداشت شده است. آیا شما می‌توانید استنتاج کنید که نیتروژن برای رشد بیشتر ضروری بوده است؟ توضیح دهید.

۲- در حالی‌که مقادیر اندکی از عناصر کم‌مصرف برای رشد عادی نبات لازم می‌باشد، آیا عاقلانه است که مقادیر زیادی از این عناصر را برای تأمین نیازهای آتی نبات هم اکنون مصرف کرد؟ توضیح دهید.

۳- کمبود آهن برای درختان هلو و سایر درختان میوه، که بر روی خاک‌های بسیار قلیایی آبیاری شده‌اند در مناطق خشک معمول است، هر چند مقدار آهن این خاک‌ها کاملاً بالاست. این وضعیت مربوط به چیست و برای تخفیف این مسأله چه‌کار می‌کنند؟

۴- اکسیدهای آهن و آلومینیوم چگونه در قابلیت استفاده Mo وB در خاک‌ها مؤثرند؟ شرح دهید.

۵- سویای کشت‌شده بر روی خاک‌هایی که تازه آهک خورده‌اند، شواهد کمبود یک عنصر را نشان می‌دهد که عده‌ای فکر می‌کنند مولیبدن باشد. شما با این تشخیص موافق هستید؟ اگر نه، توضیح دهید.

۶- کیلات‌ها چه می‌باشند، چگونه عمل می‌کنند و منابع آن‌ها چیست؟

۷- با اضافه‌کردن فقط یک کیلوگرم عنصر کم‌مصرف در هکتار به یک خاک اسیدی که در آن گل کلم آهک‌دوست کشت شده است رشد نبات پاسخ قابل‌ملاحظه‌ای می‌دهد، این عنصر کم‌مصرف احتمالا کدام یک بوده است؟ توضیح دهید.

۸- دو خاک اریدی‌سول هر دو با pH ۸ از همان مواد مادری تکامل یافته‌اند. یکی دارای زه‌کش فقیر و دیگری دارای زه‌کشی خوب است نباتات کاشت شده در خاک با زه‌کشی خوب علایم کمبود آهن را نشان داده درحالی‌که بر روی زه‌کشی فقیر علایم کمبود را نشان نمی‌دهند. توضیح احتمالی برای این مسأله چیست؟

۹- حیوانات خانگی و وحشی، هر دو تحت تأثیر کمبود و سمیت دو عنصر کم‌مصرف می‌باشند، این دو عنصر کدامند و شرایط دخیل در تأثیر آن‌ها چه می‌باشد؟

۱۰- نقشی را که اصلاح‌کننده‌های نبات و متخصصین توارث می‌توانند در مدیریت کمبود عناصر کم‌مصرف و سمیت‌ها ایفا کنند، مورد بحث قرار دهید.

۱۱- از آن‌جاکه بُر برای تولید چغندر لبویی با کیفیت خوب لازم است، بعضی از شرکت‌ها فقط چغندرهایی را که با مقدار به‌خصوصی از این عنصر کود داده شده است، خریداری می‌کنند. متأسفانه زراعت یولاف به‌دنبال چغندر کودخورده درمقایسه با زراعت یولاف به‌دنبال چغندر کود بُر نخورده خیلی ضعیف است. توضیحات ممکن را برای این موقعیت ارایه دهید.

با استفاده از دانش علمی و خرد بوم‌شناخت می‌توانیم
زمین را اداره کنیم.
رنه- ج-دبوس در انسانی‌کردن زمین

فصل ۱۶

مدیریت عملی عناصر غذایی

مدیران خاک به‌عنوان مباشرین زمین باید چرخه‌ی عناصر غذایی را در تعادل نگهدارند. با انجام این امر آن‌ها ظرفیت خاک‌ها را برای تأمین نیازهای غذایی گیاهان و به‌طور غیرمستقیم خود ما تأمین می‌کنند. درحالی‌که بوم‌سامان‌های دست‌نخورده معمولاً نیازمند دخالت مدیر خاک و یا فرد دیگری نمی‌باشند (تعداد کمی از بوم‌سامان‌ها چنین دست‌نخورده باقی مانده‌اند)، فعالیت انسانی حاصل بوم‌سامان‌ها را در جهت منافع خود هدایت کرده است، جنگل‌ها، مزارع، گذرگاه‌های زیبا، و باغ‌های گل بوم‌سامان‌هایی هستند که برای تأمین کاغذ، غذا، فرصت‌های تفریحی و ارضای حس زیبایی‌شناسی تغییر یافته‌اند. بوم‌سامان‌های تغییریافته، با توجه به سرشت خود نیازمند مدیریت می‌باشند.

در بوم‌سامان‌های تغییر یافته چرخه‌ی عناصر غذایی، به‌دلیل برداشت زیاد (برداشت چوب یا محصول زراعی)، و یا افزایش نشست و هدررفت از بوم‌سامان (آبشویی و رواناب)، از طریق ساده‌سازی (تک‌کشتی، چه درخت کاج چه محصول نیشکر) و از طریق افزایش تقاضا برای رشد هرچه سریع‌تر نبات (چه خاک به‌طور طبیعی حاصلخیز باشد و چه نباشد) نامتعادل گردیده است. بنابراین، مدیر اراضی به‌ناچار مدیر عناصر غذایی نیز باید باشد.

در این فصل، اهداف مدیریت عناصر غذایی را مورد بحث قرار داده و ابزارهایی را که در دستیابی به این اهداف به ما کمک می‌کنند تشریح می‌کنیم این ابزارها شامل روش‌های ارتقای چرخه‌ی عناصر غذایی و همین‌طور منابع اضافی عناصر غذایی است که می‌توانند در خاک‌ها و گیاهان مورد استفاده قرار گیرند. در این فصل یاد خواهیم گرفت که چگونه بی‌نظمی عناصر غذایی را در گیاهان تشخیص داده و مسایل حاصلخیزی خاک را اصلاح کنیم. این فصل، با ایجاد بنایی بر پایه‌های اصول تعریف شده در بخش‌های پیشین این کتاب، شامل اطلاعات عملی زیادی بوده که برای حفظ منابع آلی و معدنی عناصر غذایی در تولید محصولات گیاهی فراوان با کیفیت بالا، ضمن حفظ کیفیت خاک و بقای زیست‌محیط، سودمند می‌باشد.

۱۶-۱ اهداف مدیریت عناصر غذایی

مدیریت عناصر غذایی یکی از جنبه‌های کل نگرش[1] مدیریت خاک‌ها در زیست محیط بزرگ‌تر می‌باشد. اهداف مدیریت عناصر غذایی در نوع عملیات خاص به‌کار گرفته مؤثر می‌باشند. به‌طور کلی مدیریت عناصر غذایی به امید دست‌یابی به چهار هدف گسترده وابسته به همدیگر صورت می‌گیرد: (۱) تولید باصرفه‌ی گیاهان با کیفیت بالا (۲) استفاده مؤثر از منابع عناصر غذایی و حفظ آن‌ها (۳) نگهداری و یا ارتقای کیفیت خاک (۴) حفاظت محیط خارج از محدوده‌ی خاک می‌باشد.

تولید نباتات

مردم در سه نوع تولید محصولات گیاهی شرکت دارند که عبارت از کشاورزی، جنگل و ایجاد چشم‌اندازهای زینتی می‌باشند. کشاورزان از خانواده‌های بومی زارعین و باغداران کم‌درآمد، که تولید آن‌ها صرفاً به مصرف خودشان می‌رسد تا زارعین پردرآمد که هدف اصلی آن‌ها کسب منفعت از محصولات و دام‌های تولید شده است متغییر می‌باشند. صرف‌نظر از مقیاس و شیوه‌ی تولید، هدف اصلی از مدیریت عناصر غذایی، افزایش عملکرد است تا بتواند به زارعین معیشتی در تأمین غذایی خانواده خود و به زارعین تجارتی در کسب منفعت یاری رساند. چهارچوب زمانی، که متأسفانه هر دو گروه زارعین برای قضاوت در شکست و یا پیروزی برنامه‌های مدیریتی خود مورد استفاده قرار می‌دهند معمولاً سه تا شش ماه می‌باشد که همان دوره‌ی رشد گیاهان تولید شده به‌وسیله‌ی آن‌هاست و این مدت درمقایسه با ارزیابی کامل مؤثربودن عملیات انتخاب شده به‌وسیله‌ی آن‌ها که نیازمند به چندین نسل انسانی می‌باشد، کوتاه است.

[1] -Holistic approach

در جنگل، محصول اصلی نبات در قالب حجم چوب و یا کاغذ تولیدی اندازه‌گیری می‌شود در این موارد مدیریت عناصر غذایی با هدف ارتقای میزان رشد می‌باشد، به‌طوری‌که زمان مابین سرمایه‌گذاری و برگشت سرمایه بتواند به‌حداقل برسد. میزان زنده‌مانی نهالچه‌ها نیز مهم می‌باشد. زیستگاه‌های وحوش و ارزش‌های تفریحی ممکن‌است تولیدات اولیه و یا ثانویه به‌حساب آیند. به‌نظر می‌رسد که چهارچوب زمانی در جنگل که در طول چندین دهه و یا حتی قرن اندازه‌گیری می‌شود، میزان اقدامات در مدیریت عناصر غذایی را که می‌تواند به‌طور سودمند انجام گیرد، دچار محدودیت می‌کند.

وقتی خاک‌ها به‌منظور ایجاد چشم‌اندازهای زینتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. هدف اصلی تولید گیاهان با کیفیت بالا با حفظ زیباشناسی می‌باشد. تولید نبات چه برای فروش باشد و یا نباشد، توجه اندکی به عملکرد زیتوده مبذول می‌گردد در واقع ممکن‌است عملکرد بالا نامطلوب باشد. مثلاً در مورد چمن که در آن عملکرد بالا نیازمند چمن‌زنی مکرر است، سرسختی، مقاومت به آفات، رنگ و فراوانی شکوفه‌های بسیار مهم‌تر از میزان عملکرد می‌باشند. هزینه‌های کارگری و سهولت مصرف، بیشتر از هزینه‌ی کود، مورد نظر است بنابراین، کودهای گران‌قیمت دیرآزادکننده به‌طور گسترده مورد استفاده می‌باشند.

حفظ منابع کودی

دو اصل کلیدی در اهداف حفظ منابع کودی عبارتند از (۱) نوسازی[1] و یا استفاده‌ی مجدد[2] از منابع و(۲) تأمین به‌اندازه و به‌هنگام کود است که بیانگر تعادل بین نهاده‌ها و ستانده‌های هر بوم‌سامان می‌باشد.

اولین اصل ترمودینامیک مطرح می‌کند که تمام منابع ماده نهایتاً قابل نوسازی می‌باشند، زیرا عناصر در اثر استفاده از بین نمی‌روند بلکه تنها در ترکیب مجدد قرار گرفته و در مکان حرکت خواهند کرد. هرچند از نظر عملی، وقتی یک عنصر غذایی از یک قطعه زمین جدا شده و در محیط گسترده‌تر ناپدید شود. اگر ناممکن نباشد، مشکل است آن‌را مجدداً به‌صورت یک عنصر غذایی مورد استفاده قرار داد. برای نمونه، فسفر ترسیب‌یافته در کف یک دریاچه با رسوبات فرسایش‌یافته و نیتروژن مدفون‌شده در یک چاله زباله برای استفاده مجدد قابل دست‌یابی نمی‌باشند. برعکس، مصرف زباله‌ی شهری کمپوست شده در اراضی زراعی و آبیاری با فاضلاب نمونه‌هایی از عملیاتی می‌باشند که عناصر غذایی را همچون منابع قابل استفاده مورد ملاحظه قرار می‌دهند.

بازچرخ نوعی نوسازی است که در آن عناصر غذایی به همان اراضی که قبلاً از آن‌ها جدا شده‌اند باز می‌گردند. باقی‌گذاشتن پس‌مانده‌های گیاهی در مزرعه، و توزیع کود طویله‌ای به زمینی که از آن دانه‌های علوفه‌ای احشام برداشت شده است نمونه‌هایی از بازچرخ عناصر می‌باشند. واژه‌گان منابع تجدیدشونده درمورد نیتروژن خالص به بهترین وجه قابل اطلاق است زیرا می‌تواند از نیوار به‌وسیله‌ی تثبیت زیستی دوباره جبران شود. در ساخت کودهای نیتروژن‌دار نیز نیتروژن نیوار تثبیت می‌شود(بخش‌های۱۰-۱۳ تا۱۲-۱۳ را مشاهده کنید) اما به بهای گزاف مصرف انرژی سوخت‌های فسیلی غیرتجدیدشونده می‌انجامد.

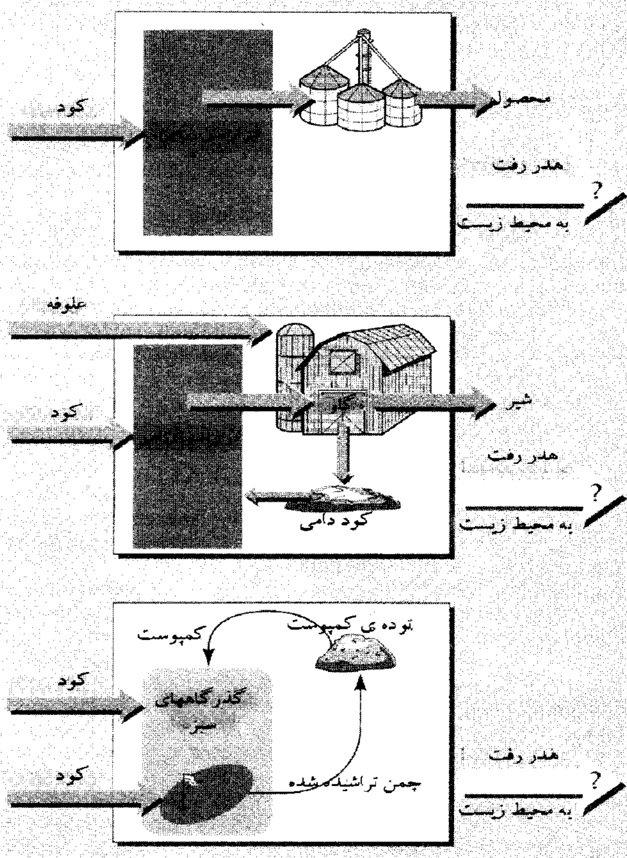
سایر عناصر غذایی کودی مانند پتاسیم و فسفر با حفاری و استخراج از ته‌نشست‌های معدنی غیرتجدید شونده، و یا از کانی‌های ترسیب شده دریاها و اقیانوس‌ها به‌دست می‌آیند. میزان ذخایر جهانی شناخته‌شده برحسب نوع عنصر غذایی متفاوت است، اما برای اکثر عناصر ذخایر برآورد شده چنان زیاد است که حداقل برای چندین قرن کافی می‌باشد. هرچند اگر زارعین کشورهای جهان سوم، مصرف کودهای فسفره خود را به‌میزان مصرف کنونی در اروپا و آمریکا بالا ببرند. منابع این عنصر حیاتی ممکن‌است در مدت کمتر از یک قرن تخلیه گردد. به‌علاوه با ازبین‌رفتن غنی‌ترین و قابل‌دسترس‌ترین منابع این عناصر غذایی، قیمت تولید کود در قالب پول، انرژی و تخریب محیط بالا خواهد رفت. افزون برآن نیاز به این کودها در طول سال‌های آتی نه‌تنها کاهش نمی‌یابد، بلکه افزایش نیز خواهد داشت. طبق سرشت خاص خود، یک عنصر غذایی اساسی نمی‌تواند به‌وسیله‌ی عنصر دیگری جایگزین گردد، بنابراین، عاقلانه این است که از منابع کودی به‌عنوان بخشی از یک برنامه طولانی مدت مدیریت عناصر غذایی حفاظت کنیم.

یک اقدام مفید در برنامه‌ریزی مدیریت عناصر غذایی، تفهیم و درک جریان عناصر غذایی در نظام خاص مورد ملاحظه است. چگونگی جریان باید تمام نهاده‌ها و ستانده‌های عناصر غذایی را دربرداشته باشد. مثال‌های از این دست در شکل ۱-۱۶ آمده است.

[1]-Renewal
[2]-Reuse

نبود تعادل در عناصر غذایی

در بسیاری از موارد، که نبود تعادل، کمبود و یا زیادی عنصر غذایی مورد بررسی قرار می‌گیرد. این بررسی نیازمند تجزیه و تحلیل جریان عناصر غذایی نه‌تنها در یک مزرعه و یا مؤسسه‌ی کشاورزی، بلکه در یک حوزه‌ی آبخیز، یک منطقه و یا حتی در مقیاس ملی است. برای مثال مطالعات نشان داده‌اند که بسیاری از کشورها در آفریقا به‌رغم واردنمودن عناصر غذایی به‌صورت کودهای شیمیایی، خود به‌طور خالص صادرکننده‌گان عناصر غذایی هستند، و این بدان معنی است که صدور محصولات کشاورزی و جنگلی عناصر غذایی بیشتری را با خود درمقایسه با واردات کودهای شیمیایی و خوراک دام و انسان از این کشورها خارج می‌سازد. در طول ۳۰ سال گذشته به‌طور متوسط سالانه ۲۲ کیلوگرم نیتروژن، ۲/۵ کیلوگرم فسفات و ۱۵ کیلوگرم پتاس از هر هکتار در مساحت حدود ۲۰۰ میلیون هکتار اراضی زراعی زیر صحرای آفریقا (به‌استثنای آفریقای جنوبی) ازبین رفته است. به‌نظر می‌رسد این تعادل منفی خالص در خاک‌های آفریقا که عامل تأثیرگذاری در فقر غذایی، کاهش توان تولید و رکود و کساد اقتصاد ملی در این قاره باشد(بخش۱۰-۲۰ را مشاهده کنید).

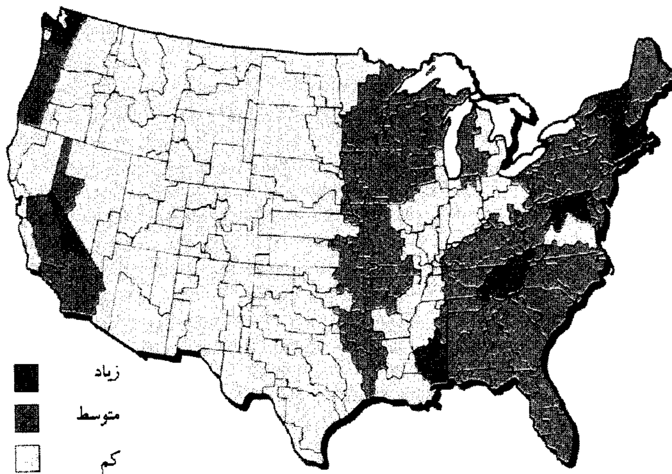


شکل ۱-۱۶ تصویر جریان عناصر غذایی به‌طور نمونه در یک مزرعه با محصول غله‌ی سودآور، یک مزرعه دامپروری و یک زمین بازی گلف. فقط نهاده‌ها و ستانده‌های موردنظر نشان داده شده‌اند. سایر نهاده‌های غیرقابل مدیریت (مانند عناصر غذایی ریزش‌یافته با باران) نشان داده نشده است و ستانده‌ها که مدیریت آن‌ها مشکل است مانند هدررفت حاصل از آبشویی داخلی و رواناب به محیط زیست نشان داده شده که متغیر می‌باشند. هرچند اطلاعات مربوط به نهاده‌ها و ستانده‌های غیرقابل مدیریت همیشه به آسانی قابل دسترسی نمی‌باشند، باید در ارائه یک طرح کامل مدیریت عناصر غذایی مد نظر قرار گیرند. چگونگی جریان همانند آن‌چه نشان داده شده است نقطه شروعی برای تشخیص عدم تعادل بین نهاده‌ها و ستانده‌ها است که منجر به اتلاف منابع، کاهش سود و خسارات زیست‌محیطی می‌شود.

برعکس در مناطق معتدل اراضی زراعی به‌طور متوسط عناصر غذایی بیشتر از آن‌چه که به‌وسیله‌ی برداشت محصول، رواناب و فرسایش از زمین خارج می‌شود دریافت می‌دارند. در طول همان ۳۰ سال گذشته در خاک‌های تحت کشت مناطق معتدل با مساحتی حدود ۳۰۰ میلیون هکتار دارای یک تعادل مثبت خالص عناصر غذایی حداقل به مقدار ۶۰ کیلوگرم نیتروژن، ۲۰ کیلوگرم فسفر و ۳۰ کیلوگرم پتاس در هر هکتار بوده‌اند. درحالی‌که کمبود عناصر غذایی در بعضی از مزارع به‌چشم می‌خورد، در بسیاری از خاک‌ها در این مناطق تراکم عناصر غذایی صورت گرفته است. بعضی از این عناصر اضافی به داخل رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و یا نیوار حرکت کرده و در آن‌جا سبب بروز زیان‌های زیست‌محیطی گردیده‌اند.

تغییرات در ساختار تولید کشاورزی در برخی از کشورها سبب ایجاد عدم تعادل عناصر غذایی و همراه با آن آلودگی شدید آب در بسیاری از مناطق گردیده است. تمرکز تولیدات دامپروری در دامداری‌ها و سایر محدوده‌های تولید دام گوشتی با استفاده از علوفه‌ی وارداتی از سایر مناطق یکی از این موارد می‌باشد. کود دامی حاصل در این محل‌های تولید دام دارای عناصر غذایی بسیار بیشتر از آن

است که بتواند به‌طور کارا و بی‌ضرر از نظر زیست‌محیطی در مزارع کشاورزی نزدیک مورد استفاده قرار گیرد. شکل ۲-۱۶ چنین مناطقی را در ایالات متحده‌ی آمریکا نشان می‌دهد. تمرکز صنعت پرورش طیور در ایالت دل‌ور[1] نمونه‌ای را که در آن‌جا هم عدم تعادل عناصر غذایی گزارش شده است، ارایه می‌دهد (جدول ۱-۱۶).



شکل ۲-۱۶ نقشه ایالات متحده‌ی آمریکا نشان‌دهنده‌ی مناطقی که در آن‌ها نسبت کود دامی تولیدشده به اراضی زراعی موجود برای مصرف کود بین زیاد تا کم است. در بعضی از مناطق با نسبت بالا، میزان ۴ مگاگرم کود دامی خشک(حدود ۱۰ تا ۲۰ مگاگرم کود تازه) برای مصرف در هر هکتار اراضی کشاورزی و یا اراضی مرتعی اصلاح شده تولید می‌شود. نسبت بالا و متوسط به این معنی است که در بسیاری از مزارع کود دامی بسی بیشتر از مقداری است که ازنظر اقتصادی قابل‌حمل به مزارع مجاور باشد. حتی در مناطق با نسبت کم، ممکن‌است کود دامی به مقدار کافی در اراضی زراعی موجود مصرف نگردد.

جدول ۱-۱۶ تعادل فسفر و نیتروژن در کشاورزی متکی به مرغ‌داری در استان دل‌ور

همان‌طورکه در جدول مشخص شده است هر سال بیشتر از ۱۰۰۰۰ تن نیتروژن در مزارع دل‌ور بیشتر از آن‌چه مورد نیاز محصولات کشت شده است مصرف می‌گردد. و این حدوداً معادل ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار است، بیشتر نیتروژن اضافی در رواناب سطحی و آب زیرزمینی از این مزارع خارج می‌شود. فسفر حتی به نسبت بیشتر از تعادل خارج شده است که نتیجه آن تراکم این عنصر در خاک‌های سطحی و هدررفت بیشتر در رواناب می‌باشد.

نیتروژن مورد نیاز و یا منبع نیتروژن	مساحت اراضی هکتار	میزان فسفر مگاگرم درسال	میزان نیتروژن مگاگرم درسال
نیازها			
ذرت	۶۹۶۰۰	۹۴۰	۹۸۰۰
سویا	۸۰۶۰۰	۱۰۸۵	۰
گندم	۲۴۳۰۰	۳۳۰	۲۲۰۰
جو	۱۱۰۰۰	۱۵۰	۱۰۰۰
سایر محصولات	۳۲۴۰۰	۴۳۵	۳۶۰۰
کل نیاز	۲۱۷۹۰۰	۲۹۴۰	۱۶۶۰۰
منابع کودی			
کود مرغی	--	۳۴۹۵	۷۸۶۵
خرید کود شیمیایی		۲۹۵۵	۱۹۲۷۵
سایر مواد زاید		نامعلوم	نامعلوم
کل منابع		۶۴۵۰	۲۷۱۴۰
تعادل (نیتروژن و فسفر اضافی)		۳۵۱۰+	۱۰۵۴۰+

[1]- Delware

کیفیت خاک و توان تولید

مفهوم استفاده از عناصر غذایی برای ارتقای کیفیت خاک از تأمین ساده عناصر غذایی لازم برای رشد گیاه درسال کشت محصول بسیار فراتر می‌رود. این مفهوم تأمین عناصر غذایی در طولانی مدت، ظرفیت خاک در چرخه‌ی عناصر، بهبود خصوصیات فیزیکی و یا شخم‌آیی[1]، حفظ وظایف و تنوع زیستی در سطح و لایه‌های زیرین خاک و اجتناب از سمیت عناصر شیمیایی را نیز شامل می‌گردد. به‌همین ترتیب ابزارهای به‌کار رفته در مدیریت، بسیار فراتر از مصرف کودهای شیمیایی مختلف است (گرچه جزء بسیار مهمی از مدیریت عناصر غذایی است). مدیریت عناصر غذایی نیازمند مدیریت جامع فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی می‌باشد. اثر عملیات خاک‌ورزی بر تراکم ماده‌ی آلی (فصل۱۲)، افزایش قابلیت استفاده عناصر غذایی براثر فعالیت کرم‌های خاکی(فصل۱۱)، نقش قارچ‌ریشه‌ها در جذب فسفر به‌وسیله‌ی گیاهان (فصل۱۴)، اثرات آتش‌سوزی برروی عناصر غذایی، و تأمین آب، (فصل ۷) همگی نمونه‌هایی از اجزای مدیریت جامع عناصر غذایی می‌باشند.

۱۶-۲ کیفیت محیط زیست

تأثیر مدیریت عناصر غذایی بر محیط زیست مستقیماً در قلمرو کیفیت آب قابل‌تعیین است، این قلمرو در این فصل مورد تأکید قرار می‌گیرد. آلاینده‌های عمده آب که باید موردتوجه قرار گیرند عبارتند از نیتروژن، فسفر و رسوبات‌ها. بنابراین، ممکن‌است به بازبینی بسیاری از مسیرها که نیتروژن و فسفر از طریق آن‌ها از خاک خارج می‌شوند و در فصول ۱۳و۱۴ تشریح گردیده است نیازمند باشیم. برای اجتناب از خسارت نیتروژن و فسفر اضافی به آب‌های سطحی روش اصلی عبارت از متعادل‌کردن میزان تأمین این عناصر با مصرف آن‌ها به‌وسیله‌ی گیاهان می‌باشد. به‌علاوه می‌توان راهبُردهای را برای کاهش انتقال عناصر غذایی (و سایر آلاینده‌ها) به آب‌های سطحی و زیرزمینی انتخاب کرد. در آمریکا عملیاتی که به‌طور رسمی برای اعمال راهبردها تصویب شده است تحت عنوان بهترین عملیات مدیریتی[2] و یاBMP نامیده می‌شوند. ۴ نوع از این عملیات عمومی که در زیر به اختصار مورد ملاحظه قرار خواهند گرفت شامل: نوارهای حمایتی[3]، گیاهان پوششی[4]، قطع انتخابی درختان[5] و عملیات خاک‌ورزی حفاظتی[6] می‌باشند.

نوارهای پشتیبان

نوارهای حاصل از پوشش گیاهی متراکم در حاشیه رودخانه‌ها و یا سایر منابع آب (منطقه‌ی کناره‌ی آب راپاریان) یک روش ساده و معمولاً باصرفه در جلوگیری از اثرات آلایندگی در انواع کاربری‌های اراضی عرضه‌کننده‌ی عناصر غذایی می‌باشند. اراضی کود شیمیایی خورده، فعالیت‌های پرورش طیور و دام، اراضی با مصرف فضولات آلی، عملیات برداشت جنگل و فعالیت‌های توسعه‌ی شهری نمونه‌هایی از کاربری اراضی می‌باشند که دارای توان تجمع بار رسوبات و عناصر غذایی می‌باشند. پوشش گیاهی در نوارهای حمایتی ممکن‌است شامل پوشش طبیعی و یا پوشش کاشته شده بوده، و ممکن‌است چمن و درخت را نیز دربرداشته باشد(شکل۳-۱۶).

رواناب جاری از سطح اراضی غنی از عناصر غذایی قبل از این‌که به‌داخل رودخانه برسد از داخل نوارهای حمایتی عبور می‌کند. درختان و لاشبرگی که ایجاد می‌کنند همراه با گیاهان چمنی و کلش آن‌ها سبب کاهش سرعت آب و پرپیچ‌وخم‌شدن مسیر جریان می‌شوند. در این شرایط بیشتر رسوب و عناصر غذایی همراه آن در داخل آب با جریان کُند ته‌نشین شوند. عناصر غذایی حل‌شده نیز یا به‌وسیله‌ی خاک‌پوش آلی و یا خاک معدنی نگاه‌داری شده و یا به‌وسیله‌ی گیاهان نوار حمایتی در داخل نبات جذب می‌گردند. کاهش سرعت جریان زمان نگهداری و یا مدت زمانی که درطول آن فعالیت میکروبی می‌تواند آفت‌کش‌ها را قبل از رسیدن به رودخانه تجزیه کند افزایش می‌دهد. تحت بعضی شرایط نوارهای حمایتی در طول رودخانه می‌توانند میزان نیترات را در آب زیرزمینی که در زیر آن‌ها جریان دارند کاهش دهند (هر چند انتشار اکسید نیترو به نیوار نیز ممکن‌است به دنبال احیای نیترات صورت گیرد)(شکل ۱۱-۱۳).

---

[1]- Tilth
[2]- Best Management Practices
[3]- Riparian buffer strips
[4]- Cover crops
[5]- Selective timber cutting
[6]- Conservation Tillage



شکل۳-۱۶ منطقه با پوشش چمنی در طول کناره‌های یک رودخانه نمونه‌ای از نوارهای محافظ است که در حوزه‌های آب‌خیز کشاورزی ایجاد می‌شوند. بخش بزرگی از عناصر غذایی و سایر آلاینده‌ها که به‌وسیله‌ی رواناب سطحی از مزارع حمل می‌شوند قبل از ورود آن‌ها به رودخانه در این نوارها به‌دام می‌افتند. در اراضی جنگلی در قسمت عقب عکس یک نوار مشابه در طول رودخانه باقی می‌ماند تا به‌صورت نوارهای محافظ هنگام برداشت جنگل عمل کند.

نوارهای پشتیبان به‌شرط آن‌که دارای پوشش گیاهی متراکم بوده و یا به‌وسیله‌ی احشام و مردم لگدکوب نشده باشند، می‌توانند به‌طور اعجاب‌انگیزی عمل کنند. عرض لازم برای تمیزکردن بهینه ممکن‌است از ۶ تا ۶۰ متر تغییر کند، هرچند عرض ۱۰ متر معمولاً بسنده است (شکل ۴-۱۶). برای جبران اراضی زراعی کاهش‌یافته به‌وسیله‌ی نوارهای حفاظتی، مالک زمین می‌تواند آن‌ها را برای فضای دورزدن ماشین آلات و ادوات، تولید علوفه، بالابردن ارزش تفرجگاهی ساحل رودخانه و یا زیست‌گاه بهتر ماهی اختصاص دهد. بنابراین، نوارهای حمایتی می‌توانند اغلب سبب سود دوچندان گردند.

گیاهان پوششی

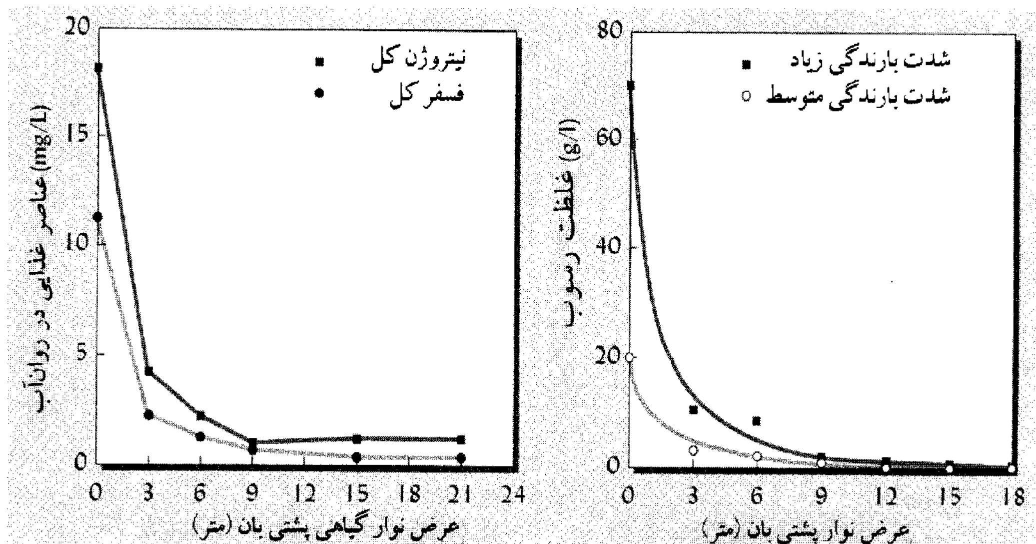
گیاه پوششی برداشت نمی‌شود، بعد از ایجاد پوشش برروی خاک یا به‌وسیله‌ی علف‌کش کشته شده و به‌صورت خاک‌پوش در سطح خاک باقی می‌ماند، و یا با شخم به‌عنوان کود سبز در داخل خاک مخلوط می‌شوند. کشت یک گیاه پوششی دارای مزایای بیش از حد درمقایسه با باقی‌گذاشتن خاک به‌صورت لخت در فصل آیش می‌باشد. گیاهان پوششی اگر از خانواده نیامداران باشند، ممکن‌است نیتروژن قابل استفاده را در خاک افزایش دهند (بخش۴-۱۶ را مشاهده کنید)؛ آن‌ها ممکن‌است زیستگاهی برای حیات‌وحش و حشرات مفید ایجاد کنند؛ آن‌ها خاک را از نیروهای فرسایشی باد و باران محافظت می‌کنند(بخش۷-۱۷)؛ آن‌ها ماده‌ی آلی خاک را اضافه می‌کنند(بخش۱۰-۱۲) باتوجه به تناسب بیشتر با عنوان این فصل، باید بیان داشت که گیاهان پوششی ممکن‌است سبب کاهش هدررفت عناصر غذایی و رسوب در رواناب سطحی و همچنین حفظ عناصر غذایی گردند که ممکن‌است به پایین‌تر از عمق ریشه حرکت کنند. یک گیاه پوششی به دو دلیل سبب کاهش هدررفت عناصر غذایی دررواناب می‌گردد. اول، پوشش گیاهی از تشکیل سله[1] در سطح خاک جلوگیری کرده، و بنابراین، سبب حفظ ظرفیت نفوذ بالا می‌گردد (شکل۷-۶ ب). در هر بارش ظرفیت نفوذپذیری بالا رواناب کمتری را برای جریان درسطح خاک باقی می‌گذارد. دوم، پوشش گیاهی سبب جدانمودن رسوب و عناصر در رواناب جاری طی همان سازوکاری می‌شود که درمورد نوارهای پشتیبان بیان گردید.

گیاهان پوششی سبب کاهش هدررفت حاصل از آبشویی می‌شوند: شاید مهم‌ترین استفاده از گیاهان پوششی در مدیریت عناصر غذایی کاهش هدررفت عناصر غذایی به‌خصوص آبشویی نیتروژن باشد. در بسیاری از مناطق معتدل مرطوب و نیمه‌مرطوب، بیشترین توان آبشویی نیترات از اراضی زراعی در طول پاییز و زمستان بعد از برداشت و قبل از کشت زراعت اصلی در بهار صورت می‌گیرد. در طول فصل رشد اصلی، ریشه‌ی گیاهان هم سبب جذب آب و هم عناصر غذایی می‌گردند که باعث عدم حرکت و یا حرکت اندک آب به زیر منطقه ریشه و غلظت نسبتاً کم نیترات در آب خاک می‌شوند. هرچند اگر خاک بعد از برداشت محصول اصلی بدون

[1]- Crust

پوشش باشد، نیترات به‌آسانی به طبقات پایین آبشویی می‌شود. توان زیاد آبشویی تا رشد و توسعه‌ی نبات درسال بعد ادامه خواهد داشت (مگر این‌که خاک یخ بزند).

درطول این ایام آسیب‌پذیر، حضور یک گیاه پوششی دارای رشد فعال فرونشست آب را کُند کرده و بیشتر نیترات را از محلول خاک جدا کرده و آن‌را در داخل بافت نبات مصرف خواهد کرد که در سال بعد قسمت اعظم آن در داخل خاک تجزیه خواهد شد. برای تحقق این امر، یک گیاه پوششی مطلوب باید شبکه‌ی هرچه متراکم‌تر ریشه را هرچه سریع‌تر بعد از توقف رشد زراعت اصلی تولید کند. ثابت شده است که نباتات خانواده‌ی گندمیان مانند غلات زمستانه‌ی یک‌ساله (چاودار، گندم، یولاف) و نیامداران (خلر و شبدر) در پاک‌کردن نیتروژن محلول باقی‌مانده بسیار کارآ می‌باشند(شکل ۵-۱۶). همچنین باید توجه کرد که گیاه پوششی مانند هر گیاه دیگر نیازمند تأمین عناصر غذایی متعادل است، و اگر تأمین دیگر عناصر غذایی به‌خوبی انجام نشده باشد، دارای توانایی کاهش مؤثر نیترات از خاک نخواهد بود (شکل۶-۱۶). در این رابطه وجود P و K، به‌خصوص برای گیاهان پوششی درحال رشد در دمای کم بسیار مهم است.



شکل ۴-۱۶ جداسازی عناصر غذایی و رسوبات از رواناب به‌وسیله‌ی نوارهای پشتیبان گیاهی با عرض‌های مختلف، نیتروژن و فسفر در رواناب یک مزرعه که کود خوک دریافت کرده بود، اندازه‌گیری شد (چپ). در آزمایش دیگر، رسوبات از رواناب یک مزرعه که به‌صورت آیش باقی مانده و شدت‌های مختلف بارندگی دریافت کرده بود، اندازه‌گیری شد (راست). توجه کنید که بیشترین عناصر غذایی و رسوب در ۹ متر اول نوار پشتیبان گیاهی جدا گردید. بسته به نوع پوشش گیاهی و خصوصیات خاک، عرض بسنده‌ی نوار پشتیبان ممکن‌است از ۶ تا ۶۰ متر متفاوت باشد.

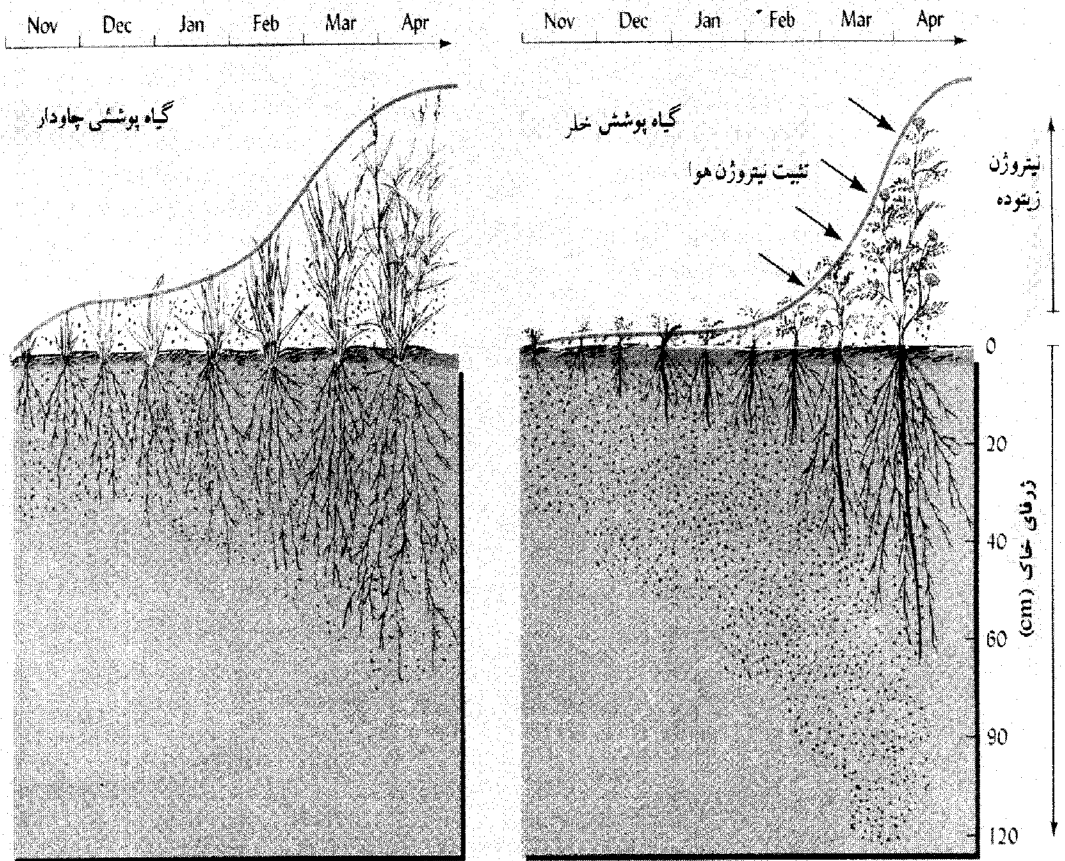
عملیات قطع انتخابی درختان

مشخصه‌ی اکثر جنگل‌ها به‌خصوص با درختان جوان سریع‌الرشد، کند آزادکردن عناصر غذایی (عمدتاً براثر معدنی‌شدن ماده‌ی آلی) می‌باشد که در ارتباط نزدیک با میزان جذب عناصر مربوط به این درختان است. متأسفانه اکثر روش‌های معمول و باصرفه‌ی برداشت گونه‌های جنگلی، یعنی کف‌تراشی که عبارتست از برداشت تمام درختان در قطعات بزرگ زمین، می‌باشد دارای پیامدهای جدی زیست‌محیطی است(شکل۷-۱۶). در این روش نه‌تنها خاک در مقابل فرسایش بسیار آسیب‌پذیر خواهد شد، بلکه به چهار دلیل اساسی تعادل عناصر غذایی به‌هم خواهد خورد.

اول؛ برداشت تمام درختان، خاک را تا استقرار ریشه‌ی پوشش گیاهان طبیعی با تعداد معدودی ریشه‌ی فعال برای جذب عناصر غذایی حل‌شده در محلول خاک مواجه می‌سازد. دوم؛ تجزیه‌ی ماده‌ی آلی و آزادشدن عناصر غذایی معدنی براثر بالارفتن دما به‌دلیل نبود سایه در کف جنگل، و به‌هم‌زدن فیزیکی افق‌های O وA با کشیدن الوار و کف‌تراشی جنگل به مقدار زیادی تسریع می‌یابد. سوم؛ بقایای جنگلی (شاخه و برگ‌ها) باقی‌مانده بعد از برداشت درختان یک منبع عظیم از عناصر غذایی را ارائه می‌کنند که باید یا به‌وسیله‌ی سوزاندن بقایا، و یا تجزیه میکروبی آزاد گردند. چهارم؛ کاهش عمده در زیتوده‌ی میکروبی که به‌دنبال جنگل‌تراشی صورت می‌گیرد، سبب باقی‌ماندن جرم عظیمی از ریزجانداران مرده دارای سهولت تجزیه می‌شود.

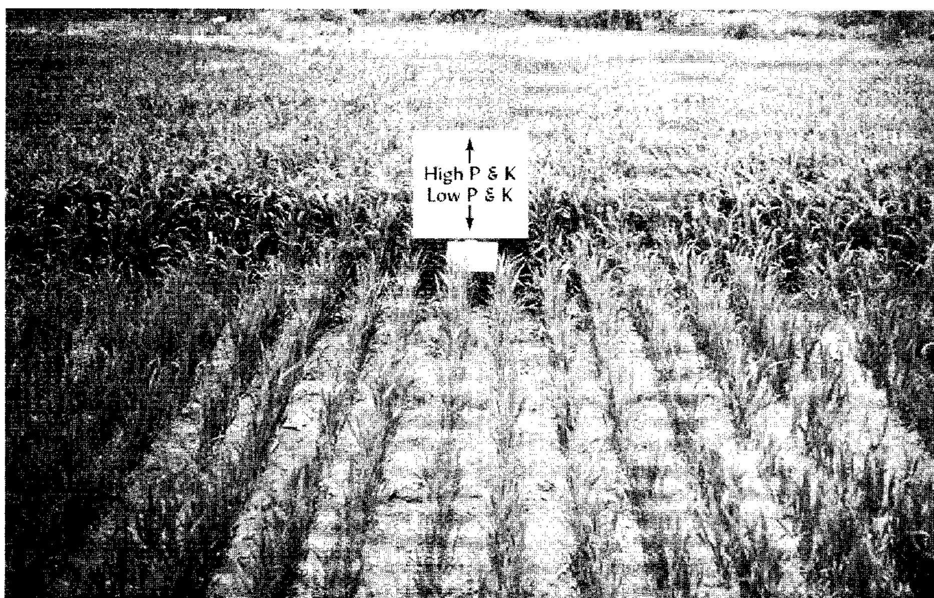
درنتیجه این عوامل نشان داده شده است، رودخانه‌هایی که حوزه‌های آبخیز جنگل‌تراشی شده را زه‌کشی می‌کنند بار بسیار بالایی را از نیترات و سایر عناصر غذایی مدتی تا پس از برداشت جنگل حمل می‌کنند. اثرات کف‌تراشی در قطعات بزرگ، وقتی خاک‌ها شنی بوده و توان ایجاد پوشش مجدد با مصرف علف‌کش‌ها برای کاهش رقابت علف‌ها با نهالچه‌های جنگلی تازه کشت‌شده به‌حداقل رسیده است بسیار بالا خواهد بود (شکل۸-۱۶). حتی وقتی علف‌کش‌ها نیز مصرف نشوند تجدید پوشش معمولاً چنان سریع نیست که از آبشویی نیترات در مدتی کوتاه پس از جنگل‌تراشی ممانعت کند.

عملیات قطع انتخابی، بر عکس، درصد کمی از درختان موجود را در هر سال برداشت می‌کند. خاک‌ها برای انتشار ریشه گیاهان[1] جمع‌کننده (رُفتگر) عناصر غذایی آماده بوده و کف جنگل با زیرورو‌شدن و رودخانه‌ها با آلودگی و خاک‌های جنگلی با تخلیه عناصر غذایی کمتر مواجه می‌شوند. یک چشم‌انداز کمتر تخریب یافته از مزایای دیگر قطع انتخابی جنگل می‌باشد.



شکل ۵-۱۶ مؤثر بودن نسبی نباتات غیرنیامدار (چاودار) درمقایسه با یک نبات نیامدار (خلر) پوششی زمستانه در پاک‌کردن نیترات باقیمانده در خاک بعد از برداشت یک گیاه تابستانه با مصرف کود سنگین. چاودار خیلی سریع در طول هوای ملایم پاییزی درست بعد از برداشت محصول تابستانه، رشد کرده درحالی‌که گیاه نیامدار تا گرم‌شدن مجدد خاک در بهار بعد با تأنی رشد می‌کند. این ویژگی و این واقعیت که برخلاف نبات نیامدار، چاودار وابسته به نیتروژن خاک بوده و دارای شبکه‌ی ریشه‌ی افشان می‌باشد، تواماً چاودار را به یک گیاه پوششی بسیار عالی برای کاهش آبشویی زمستانه نیترات تبدیل می‌کند.

[1]- Nutrient Scavangering tree roots



شکل۶-۱۶ همانند سایر نباتات، رشد قوی یک گیاه پوششی نیازمند عناصر غذایی به میزان کافی در خاک می‌باشد. گیاه پوششی یولاف با رشد ضعیف در خاک‌های دارای P و K اندک در قسمت جلو عکس نمی‌تواند در جلوگیری از آبشویی نیترات در این خاک بافت درشت التی‌سول یاری‌رسان باشد. خاک در قسمت عقب عکس با رشد قوی یولاف، طی سال قبل فسفر و پتاسیم به میزان ۳۶ و ۷۰ کیلوگرم درهکتار به‌ترتیب دریافت داشته است.



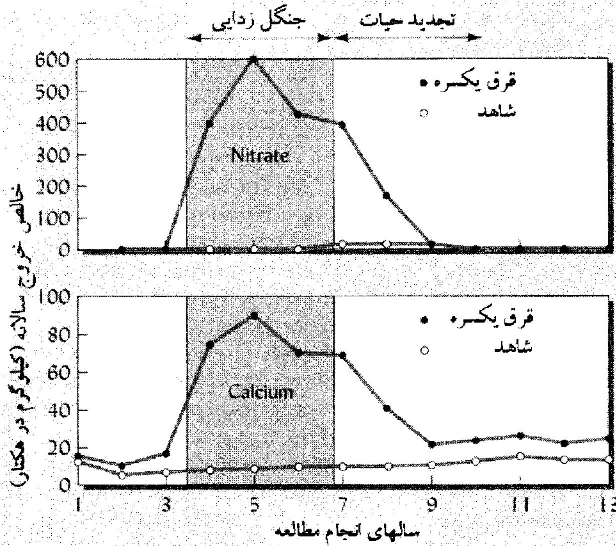
شکل۷-۱۶ قطع کلیه درختان کاج لابلالی در خاک‌های دشت ساحلی. تعداد اندکی درخت بالغ به‌عنوان درختان بذری باقی مانده است.کف جنگل به‌وسیله‌ی سرشاخه‌ها در اندازه‌های مختلف پوشانده شده است، اما پوشش گیاهی زنده اندک است.قطعات بریده شده ممکن‌است موجب آلی‌کردن شدید نیتروژن طی تجزیه گردند.

عملیات خاک‌ورزی حفاظتی

واژه‌گان خاک‌ورزی حفاظتی به عملیات خاک‌ورزی در کشاورزی اطلاق می‌شود که حداقل ۳۰ درصد سطح خاک را با پوشش پس‌مانده‌های گیاهی به‌دنبال انجام عملیات باقی گذارد. اثر خاک‌ورزی حفاظتی بر خصوصیات خاک و جلوگیری از فرسایش در جای دیگری در این کتاب (بخش۶-۱۷ را مشاهده کنید) مطرح خواهد شد. در این‌جا تأکید بر اثرات آن در هدررفت عناصر غذایی می‌باشد.

مطالعات در بسیاری از مناطق کره‌ی زمین روشن ساخته‌اند که، درمقایسه با اراضی شخم خورده با پوشش اندک و یا بدون پوشش، عملیات خاک‌ورزی حفاظتی مقدار کل رواناب سطحی را کاهش داده و بار کل عناصر غذایی و رسوب حمل‌شده به‌وسیله‌ی همان رواناب

را حتی به مقدار بیشتری کاهش می‌دهد (جدول‌های ۲-۱۶و۲-۱۴). در صورت ترکیب این عملیات با گیاهان پوششی اثر آن‌ها بیشتر خواهد شد نگرانی برخی این است که کودهای شیمیایی و فضولات آلی مصرف شده در مزارع با عملیات شخم و شیار حفاظتی با خاک به‌خوبی مخلوط نمی‌شوند (و یا اصلاً مخلوط نمی‌شود) و بسیار احتمال دارد که به پایین شیب، شسته شوند. در اکثر موارد، اگر سطح خاک به‌وسیله‌ی عملیات خاک‌ورزی کمتر دست‌کاری شود، حتی اگر کود دامی و لجن فاضلاب بر روی آن پخش گردد، هدررفت عناصر غذایی به‌داخل رواناب کمتر خواهد بود.



شکل ۸-۱۶ اثر کف‌تراشی جنگل به‌دنبال سه سال مصرف علف‌کش بر خالص خارج‌شدن دو عنصر غذایی در یک حوزه‌ی آبخیز جنگلی دارای خاک‌های شنی در کوه‌های نیوهمشایر. در این شرایط امکان آبشویی حداکثر بود، زیرا درختان برداشت‌شده و از رشد گیاهان در اشکوب زیرین با استفاده از علف‌کش ممانعت شده بود. هدررفت عناصر غذایی درصورت استفاده از عملیات BMP و ایجاد امکان رشد بلافاصله پس از کف‌بری کمتر چشم‌گیر خواهد بود.

در کل، هدررفت عناصر غذایی براثر آبشویی در خاک‌ورزی حفاظتی مقداری از خاک‌ورزی معمول بیشتر است. این امر تا حد زیادی قابل پیش‌بینی است، زیرا در خاک‌ورزی حفاظتی بخش اکثر بارندگی ویا آب آبیاری به‌داخل خاک نفوذ کرده و عناصر غذایی را آبشویی می‌کند. در بعضی موارد آب سطحی از طریق منافذ درشت، که در نظام خاک‌ورزی حفاظتی به‌وفور وجود دارند، به‌سرعت به پایین خاکرخ جریان می‌یابد. درنتیجه، عناصر غذایی نگهداری شده در منافذ ریز به افق‌های پایین انتقال نمی‌یابند. در این شرایط هدررفت عناصر غذایی در عملیات خاک‌ورزی حفاظتی کمتر است.

جدول۲- ۱۶ اثر کاربری اراضی و عملیات خاک‌ورزی بر هدررفت عناصر غذایی در رواناب در یک خاک لوم رسی[1] سیلتی هاپلودالف[2] در ایالت اوهایو. جنگل مخلوطی از درختان بلوط و کاج بود، مزرعه یونجه برای تولید علوفه سه‌ساله بود و کرت‌های کشت شده بعد از ۱۰ سال در زیر علف‌زار گندمیان به کشت ذرت اختصاص یافت. خاک‌ورزی جوی پشته‌ای[3] نوعی از عملیات خاک‌ورزی حفاظتی است که خاک را پوشیده از پس‌مانده‌های گیاهی در زمستان باقی گذاشته و فقط بخشی از خاک را در بهار به‌هم می‌زند.

هدررفت آب و عناصر غذایی	جنگل	نظام خاک‌ورزی		
		یونجه شخم‌نخورده	ذرت، جوی پشته‌ای	ذرت، کشت‌شده مرسوم
رواناب(درصد بارش)	۵	۱۸	۳۳	۴۰
هدررفت عناصر غذایی				
$kgha^{-1}yr^{-1}$ نیتروژن	۱۹	۱۳	۴۹	۳۱۵
فسفر	۰/۲۶	۰/۲۱	۱/۱۲	۲/۶۵

1- Silty clay loam
2- Hapludalfs
3- Ridge till

در باقی‌مانده این فصل ما توجه خود را، بر ویژگی‌ها و استفاده از منابع مختلف عناصر غذایی، روش‌های طراحی‌شده برای تحقق اهداف مطرح‌شده‌ی قبلی مدیریت عناصر غذایی، و روش‌های ارزیابی وضعیت غذایی گیاه و خاک به‌منظور تعیین نوع عنصر غذایی و مقدار مورد نیاز آن معطوف خواهیم داشت.

۱۶-۳ منابع عناصر غذایی

مخزن عناصر قابل استفاده‌ی خاک از منابع داخلی و خارجی تأمین می‌گردد. منابع داخلی عناصر غذایی خاک از داخل بوم‌سامان، چه یک جنگل، یک حوزه آب‌خیز، یک مزرعه و یا خانه‌ای در حاشیه شهر فراهم می‌شود. این منابع به دلیل این‌که هزینه‌های مالی و زیست‌محیطی آن‌ها در کمینه‌ی مقدار است اغلب مورد ترجیح قرار می‌گیرند. این منابع شامل فرایند هوادیدگی کانی‌ها در داخل خاکرخ، تثبیت زیستی نیتروژن. کسب عنصر غذایی از نزولات نیواری و اشکال مختلف چرخه‌ی داخلی مانند استعمال کود دامی و مدیریت پس‌مانده‌های گیاهی می‌باشند.

وقتی منابع داخلی نابسنده باشند که اغلب در مورد بعضی از عناصر در نظام با توان تولید بالا صادق است، عناصر باید از منابع خارج از سامانه وارد گردند. این منابع خارجی معمولاً عبارت از کودهای شیمیایی و آلی خریداری شده می‌باشند. بعضی از بقایای آلی و فضولات قابل استفاده در کشور آمریکا، همراه با درصد مصرف هر یک در مزارع در جدول ۳-۱۶ آمده است.

جدول ۳-۱۶ مقادیر فضولات آلی که هرسال در آمریکا تولید گردیده و درصد این مواد که در اراضی مصرف می‌شوند.

فضولات آلی	تولید سالانه، میلیون تن خشک	درصد مصرف‌شده در اراضی	فضولات آلی	تولید سالانه میلیون تن خشک	درصد مصرف‌شده در اراضی
پس‌مانده‌های گیاهی	۴۵۰	۷۵	قطع اشجار و کارخانه‌های چوب‌بری	۳۵	۱۰
کودهای دامی	۱۷۵	۹۰	مواد آلی صنعتی	۹	۵
ضایعات شهری	۱۴۵	۱۰	لجن فاضلاب	۶	۴۰
			صنایع غذایی	۳	۱۵

۱۶-۴ چرخه‌ی عناصر غذایی در خاک - گیاه و نیوار

هوادیدگی مواد مادری: یک منبع داخلی

بسته به مواد مادری و اقلیم هوادیدگی (بخش۳-۲ را مشاهده کنید)، ممکن‌است مواد مادری مقادیر قابل‌توجهی عناصر غذایی را آزاد کند (جدول ۴-۱۶). در سامانه‌های تولید چوب، اکثر عناصر غذایی از مواد مادری و یا تجزیه‌ی ماده‌ی آلی برای تأمین عناصر غذایی کافی به سرعت آزاد می‌شوند. هرچند در سامانه‌های کشاورزی، باید مقداری عناصر غذایی معمولاً اضافه شوند، زیرا عناصر غذایی سالانه در محصولات برداشت‌شده از زمین خارج می‌گردند. مقادیر بسیار اندکی نیتروژن از هوادیدگی مواد مادری معدنی آزاد می‌شوند، بنابراین، سایر سازوکارها، از جمله تثبیت زیستی نیتروژن، برای تأمین مجدد این عنصر بسیار مهم لازم است. آزادشدن عناصر براثر معدنی‌شدن مواد آلی خاک در چرخه‌ی کوتاه‌مدت عناصر غذایی بسیار مهم است. در طولانی مدت ماده‌ی آلی و عناصر غذایی آن باید مجدداً جبران گردد درغیر این‌صورت حاصلخیزی خاک افول خواهد کرد.

اقتصاد عناصر غذایی در درختان

جنگل‌ها، سازوکارهای متعددی را برای حفظ عناصر غذایی در مناطق با منابع فقیر ابداع نموده‌اند. برای مثال سوزنی‌برگان در مناطق سردسیر (نراد سیاه) برگ‌های سوزنی خود را به‌جای این‌که مرتباً خزان کنند، برای دهها سال نگهداری می‌کنند و این آن‌ها را قادر می‌سازد، که در محل‌هایی که دارای مقادیر اندک نیتروژن قابل استفاده می‌باشند رشد کنند (سوزن‌ها از نظر نیتروژن بسیار غنی‌تر از بافت‌های چوبی می‌باشند). جنگل‌ها معمولاً زیتوده سطحی بیشتری (۲۰۰-۱۰۰ کیلوگرم در هر کیلوگرم نیتروژن جذب شده) درمقایسه با بوم‌سامان‌های دیگر (ذرت ۷۰-۶۰ کیلوگرم زیتوده در هر کیلوگرم نیتروژن جذب‌شده) تولید می‌کنند.

جدول ۴-۱۶ مقدار عناصر غذایی انتخاب شده که به‌وسیله‌ی هوادیدگی کانی‌ها در یک اقلیم معتدل مرطوب شاخص در مقایسه با مقدار برداشت‌شده به‌وسیله‌ی محصولات چوبی درختان و یا محصولات کشاورزی آزاد می‌شود. میزان آزادشدن عناصر از کانی‌ها و برداشت درختان در جنگل تقریباً متعادل است، اما زراعت مقدار بیشتری از بعضی عناصر غذایی درمقایسه با آزادشدن برداشت می‌کند. هدررفت ناشی از آبشویی نشان داده نشده است.

هوادیدگی طبیعی - جنگل‌کاری، کشاورزی	مقدار آزادشده و یا برداشت‌شده (کیلوگرم درهکتار)			
	فسفر	پتاسیم	کلسیم	منیزیم
آزادشده از مواد آذرین در طول ۵۰ سال	۵-۲۵	۲۵۰-۱۰۰۰	۱۵۰-۱۵۰۰	۵۰-۵۰۰
برداشت‌شده در محصولات چوبی یک جنگل ۵۰ ساله پهن‌برگ	۱۰-۲۰	۶۰-۱۵۰	۱۷۵-۲۵۰	۲۵-۱۰۰
برداشت‌شده در۵۰ سال محصول سالانه دریک تناوب ذرت، گندم، سویا	۱۲۰۰	۲۰۰۰	۱۵۰	۵۰۰

جنگل‌های مناطق سردسیر، که در آن‌ها نرخ اندک تجزیه‌ی ماده‌ی آلی سبب عدم تحرک نیتروژن سامانه در لاشبرگ کف جنگل می‌باشد از این نظر بسیار کاراتر از جنگل‌های گرمسیری و معتدل می‌باشند (جدول۵-۱۶).

اگرچه درختان همانند محصولات زراعی ممکن‌است اکثر عناصر غذایی خود را از افق‌های سطحی به‌دست آورند، شیوه‌ی خاص به‌دست‌آوردن عناصر غذایی در درختان شاخص می‌باشد. به‌خاطر رشد چند ساله و نظام ریشه عمیق آن‌ها، درختان در جمع‌آوری عناصر غذایی از اعماق خاکرخ که عمده آزادشدن عناصر غذایی از مواد مادری در آن‌جا صورت گرفته و عناصر غذایی در طبقات بالا در آن‌جا تمرکز می‌یابند. بسیار تطابق یافته‌اند. بازده‌ی استفاده از عناصر غذایی بعضی مواقع می‌تواند با ترکیب درختان و نباتات زراعی در نظامی که به آن نظام جنگل-زراعی[1] گفته می‌شود افزایش یابد (شکل‌های ۹-۱۶و۱۰-۲۰).درختان ممکن‌است حاصلخیزی خاک را از چند طریق بهبود بخشید. درختان می‌توانند همانند یک تلمبه‌ی عناصر غذایی عمل کنند، عناصر غذایی موجود در اعماق زمین را که در اثر هوادیدگی و یا آبشویی از طبقات بالا فراهم شده‌اند بالا آورده و آن‌ها را در سطح خاک به‌صورت لاشبرگ انباشته کنند که پس از تجزیه، عناصر غذایی را آزاد نموده و به‌وسیله‌ی محصولات زراعی با ریشه کوتاه جذب گردند. درختان تثبیت‌کننده نیتروژن (عمدتاً نیامداران) همچنین می‌توانند لاشبرگ غنی از نیتروژن به خاک سطحی افزوده کنند. همچنین، ممکن‌است درختان با به‌دام‌انداختن گرد و خاک بادرفته حاصلخیزی خاک را در اطراف خود ارتقای داده و بنابراین، سبب افزایش ترسیب عناصر غذایی مانند کلسیم، فسفر و گوگرد گردند.

جدول۵-۱۶ توزیع شاخص عناصر غذایی از چند نوع بوم‌سامان جنگلی

عنصر غذایی و نوع جنگل		پوشش گیاهی kg/ha	کف جنگل kg/ha	مدت زمان توقف در کف جنگل (سال)
نیتروژن	سوزنی‌برگان سردسیری	۳۰۰-۵۰۰	۶۰۰-۱۱۰۰	۲۰۰
	پهن‌برگان معتدل	۱۰۰-۱۲۰۰	۲۰۰-۱۰۰۰	۶
	جنگل بارانی گرمسیری	۱۰۰۰-۴۰۰۰	۳۰-۵۰	۰/۶
فسفر	سوزنی‌برگان سردسیری	۳۰-۶۰	۷۵-۱۵۰	۳۰۰
	پهن‌برگان معتدل	۶۰-۸۰	۲۰-۱۰۰	۶
	جنگل بارانی گرمسیری	۲۰۰-۳۰۰	۱-۵	۰/۶
پتاسیم	سوزنی‌برگان سردسیری	۱۵۰-۳۵۰	۳۰۰-۷۵۰	۱۰۰
	پهن‌برگان معتدل	۳۰۰-۶۰۰	۵۰-۱۵۰	۱
	جنگل بارانی گرمسیری	۲۰۰۰-۳۵۰۰	۲۰-۴۰	۰/۲
کلسیم	سوزنی‌برگان سردسیری	۲۰۰-۶۰۰	۱۵۰-۵۰۰	۱۵۰
	پهن‌برگان معتدل	۱۰۰۰-۱۲۰۰	۲۰۰-۴۰۰	۳
	جنگل بارانی گرمسیری	۳۵۰۰-۵۰۰۰	۱۰۰-۲۰۰	۰/۳

[1]- Agroforestry


(الف)


(ب)

شکل ۹-۱۶ دو نمونه از نظام جنگل-زراعی.(الف) ریشه عمیق *Acacia albida* سبب غنی‌شدن خاک در زیر شاخه‌های گسترش یافته خود می‌شود(پیکان یک فرد را نشان می‌دهند). این درختان به‌طور مرسوم در فصل خشک برگ کرده و برگ‌های خود را در طول فصل پرباران، که محصولات زراعی در حال رشد هستند از دست می‌دهند. این یک سنت آفریقایی است که وقتی اراضی برای کشت محصولات از پس‌مانده‌های گیاهی پاک می‌گردند این درختان باقی می‌مانند. محصولاتی که در زیر این درختان می‌رویند دارای مقادیر بالایی از گوگرد، نیتروژن و سایر عناصر غذایی هستند. (ب)شاخه‌های هرس‌شده از ردیف‌های درختان نیامدار دارای فواصل زیاد به‌صورت پوشش بر روی راهروهای بین ردیف‌های درختان پخش می‌شود. این پوشش سبب غنی‌شدن خاک و همچنین ذخیره رطوبت در این راهروها می‌گردد. درختانی که در این نظام کشت می‌شوند ممکن‌است از درختان کشت‌شده به‌تنهایی عملکرد بیشتری داشته باشند به‌شرط آن‌که رقابت بین درختان و گیاهان زراعی برای نور و آب باید در کمترین مقدار باشد.

تأمین نیتروژن به‌وسیله‌ی گیاهان پوششی نیامدار

قبلاً به بسیاری از مزایای گیاهان پوششی اشاره شد در این‌جا ارزش گیاهان پوششی نیامدار را در تأمین نیتروژن برای جذب گیاه غیرنیامدار بعدی مورد بررسی قرار می‌دهیم. نیامداران یک‌ساله‌ی زمستانی مانند خلر، شبدر و نخود می‌توانند در پاییز پس از محصولات اصلی کاشته شوند، و یا اگر فصل رشد کوتاه باشد در داخل نبات اصلی به‌وسیله‌ی هواپیما کشت گردند. هدف اینست که قبل از آن‌که هوای زمستانی برای رشد نبات پوششی خیلی سرد گردد نیامدار استقرار یابد. سپس در بهار نبات پوششی رشد خود و تثبیت زیستی نیتروژن را ادامه دهد، به‌طوری‌که در هوای گرم بهاری می‌تواند حدود ۳ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در روز تثبیت کند. پوشش سپس کشته شده و در سطح زمین به‌صورت خاک‌پوش در نظام نبود عملیات[1] خاک‌ورزی باقی‌مانده، و یا در نظام عملیات خاک‌ورزی معمول با شخم به داخل خاک برگردانده شود. یک پوشش زمستانه‌ی قوی می‌تواند مقادیر قابل‌توجهی نیتروژن را برای زراعت اصلی که به‌دنبال خواهد آمد تأمین کند (شکل ۱۰-۱۶).

یک نظام گیاه پوششی ممکن‌است قادر باشد که بخشی و یا تمام کود نیتروژن‌داری را که معمولاً برای کشت نبات اصلی لازم است تأمین کند. بسته به قیمت کود شیمیایی و هزینه‌ی بذر گیاه پوششی ممکن‌است یک صرفه‌جویی مالی نیز صورت گیرد. استفاده از نبات پوششی نیامدار زمستانه برای تأمین نیتروژن گیاهان غیرنیامدار با توسعه‌ی نظام‌های کشاورزی پایدارتر به‌طور روز افزون رایج می‌شود. این نظام گیاهان پوششی برای استفاده در باغ‌های میوه، برنج‌زارها (در طول فصل خشک زه‌کشی می‌شوند)، مزارع ذرت، و سبزی‌کاری‌ها و باغچه‌ها سازگاری یافته است.

تناوب زراعی

کشت یک محصول خاص سال‌ها به‌دنبال یکدیگر در همان زمین معمولاً عملکرد کمتری در آن محصول ایجاد کرده و اثرات منفی زیادی بر خاک و محیط درمقایسه با کشت آن در تناوب با گیاهان مختلف دیگر به‌وجود خواهد آورد. بهبود توان تولید نباتات مورد اشاره در کشت گیاهان در تناوب با یکدیگر ممکن‌است ناشی از اثر گیاهان مختلف در قطع چرخه‌ی زیستی گیاهان هرز، امراض، و آفات؛ اثرات حاصلخیزی خاک ناشی از انواع مختلف ریشه‌های نباتات، پس‌مانده‌های گیاهی و نیازهای مختلف نباتی با اثرات دگرآزاری[2]؛ همساز (بخش ۱۶-۱۲ را مشاهده کنید)، و احتمالاً اثرات مثبت بر روی تنوع قارچ-ریشه باشد (بخش ۹-۱۱). شاید این‌ها و دیگر پدیده‌ها مشخص کنند

---

[1]- No tillage
[2] - Allelopathy

که چرا هنگامی‌که آفات و تأمین عناصر غذایی نیز به‌طور مطلوب مهار می‌شود عملکرد پایدار محصول در تناوب ۱۰ تا ۲۰ درصد از کشت متوالی آن محصول بیشتر است.

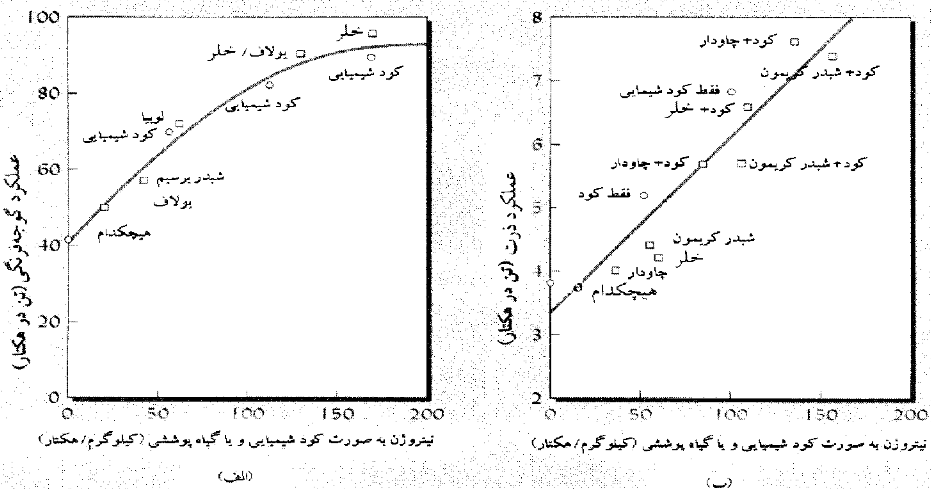
مطالعات تفصیلی نظام‌های مختلف کشت و تناوب‌ها خارج از حوصله‌ی این کتاب است، اما جنبه‌های مدیریتی نیام‌داران تناوبی با غیرنیام‌داران نیازمند یادآوری است.

مشابه با اثرات گیاهان پوششی که هم اکنون تشریح گردید ممکن‌است یک نبات نیامدار اصلی مقدار نیتروژن مورد نیاز گیاه غیرنیامدار بعدی را به‌مقدار قابل‌ملاحظه‌ای تأمین کند، هرچند بخش اعظم زیتوده و نیتروژن تجمع‌یافته در نبات نیامدار با برداشت آن از خاک خارج می گردد. نباتات نیامدار چندساله مانند یونجه تمایل دارند که بیشترین اثرات را در این رابطه داشته باشند، اما تأمین نیتروژن به وسیله ی نیامداران دانه‌ای مانند سویا، بادام زمینی نیز باید در برنامه‌ریزی تأمین نیتروژن نبات غیرنیامدار مانند غلات در محاسبات منظور گردد (شکل ۱۱-۱۶).

جلوگیری از آتش‌سوزی‌های[1] شدید

در آتش‌سوزی‌ها مقدار زیادی نیتروژن و گوگرد و مقداری فسفر به اشکال گازی تبدیل شده که بدان صورت از منطقه خارج می‌شوند. اراضی سوخته‌شده همچنین فسفر بیشتری را در رواناب برای چندین سال بعد از آتش‌سوزی از دست می‌دهد (جدول ۳-۱۴ را مشاهده کنید). خاکسترها هم از آتش‌سوزی‌های تحت مهار[2] و هم از آتش‌سوزی‌های شدید دارای مقادیر زیادی Ca,Mg,K و P محلول می‌باشند که سبب قابل‌استفاده‌بودن کوتاه‌مدت این عناصر می‌گردد گرچه سبب افزایش میزان هدررفت کاتیون‌ها از بوم‌سامان جنگلی نیز می‌شود. آتش‌سوزی‌های سرکش سبب هدررفت بیشتر عناصر غذایی می‌شوند زیرا دمای بالای همراه با این آتش‌ها بعضی از مواد آلی خاک، و همچنین زیتوده‌ی در بالای سطح آن را نیز نابود می‌سازد. کشاورزانی که پس‌مانده‌های گیاهی را بعداز برداشت می‌سوزانند، باعث هدررفت مشابهی در مزارع خود خواهند شد.

جنبه غذایی دیگر آتش‌سوزی‌های جنگلی این واقعیت است که آتش‌فرونشان‌های مورد استفاده برای مبارزه با آتش‌سوزی‌های سرکش خود عمدتاً موادی همانند کودهای شیمیایی می‌باشند. دی‌آمونیوم فسفات (DAP)، منوآمونیوم فسفات (MAP) و آمونیوم سولفات(AS) برای فرونشاندن آتش به‌طور وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند. نیتروژن و فسفر در این مواد شیمیایی ممکن‌است سبب رشد سریع در اراضی سوخته گردند. هرچند ممکن‌است درصورت هدررفت به‌داخل رودخانه‌ها، به‌دلیل جذب کمتر در نبود نبات و رواناب بیشتر، که بلافاصله به‌دنبال ازبین‌رفتن اکثر پوشش گیاهی بعد از آتش‌سوزی شدید به‌وجود می‌آید، سبب تهدید کیفیت آب گردند.

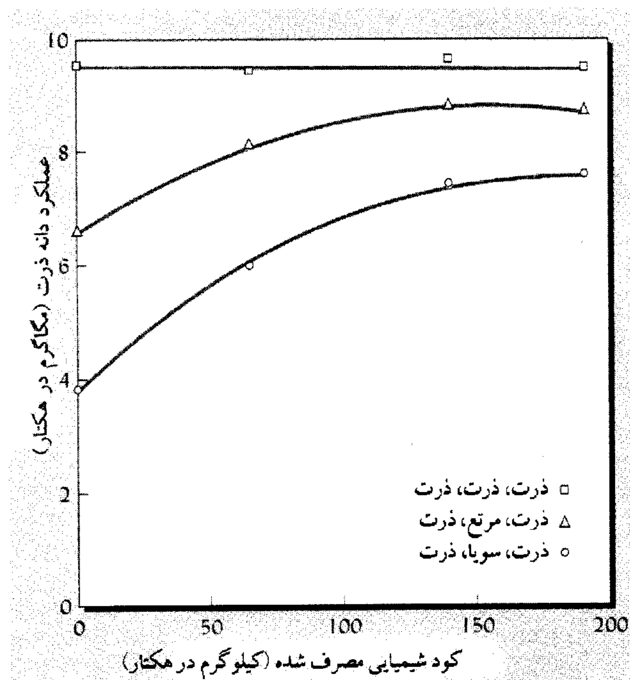


شکل ۱۰-۱۶ اثرات قابل مقایسه‌ی گیاهان پوششی زمستانه و کودهای‌شیمیایی بر عملکرد محصول بعدی. الف) عملکرد گوجه‌فرنگی کشت‌شده برای فراوری در یک خاک زرالف در کالیفرنیا ب) عملکرد نبات ذرت در خاک یودالف در کنتاکی. مقدار نیتروژن نشان داده شده در محور X ها به‌صورت کود شیمیایی و یا بقایای سطحی گیاهان پوششی به خاک داده شده است. توجه داشته باشید که نیتروژن از هر دو منبع یکسان مؤثر بوده است. در نبات گوجه‌فرنگی که نیازمند تأمین نیتروژن در مدت‌زمان طولانی می‌باشد، خلر به‌تنهایی ویا مخلوط با یولاف نیتروژن کافی حتی تا نزدیک عملکرد بهینه تأمین نموده است.

---

[1] - Wildfires
[2] - Prescribed burns

از بورات‌ها نیز به‌عنوان خاموش‌کننده آتش استفاده می‌شود. میزان بر ممکن‌است برای چندین سال برای نبات سمی باشد (بخش۱۱-۱۵ را مشاهده کنید) و احتمالاً رشد دوباره گیاهان را در اراضی سوخته‌شده که در آن‌ها بورات مصرف گردیده و در تلاش برای رشد مجدد می‌باشند به تأخیر اندازد.



شکل ۱۱-۱۶ کود شیمیایی نیتروژنی مورد نیاز ذرت معمولاً با کشت ذرت در تناوب با نیامداران کاهش می‌یابد و این یکی از دلایلی است که چرا تاریخ کشت یک مزرعه برای تصمیم‌گیری در مورد میزان کود شیمیایی برای غلات باید مورد ملاحظه قرار گیرد. تناوب‌های معرفی شده در شکل عبارتند از (ذ. چ.ذ) ذرت چمن ذرت، (ذ. ذ. ذ) ذرت. ذرت. ذرت و (ذ.س.ذ) ذرت. سویا. ذرت. چمن موجود در تناوب شامل کشت چند ساله یونجه و علف پشمکی بود. اطلاعات اگر چه معرف نتایج در خاک‌های مختلف ایالت ایوا می‌باشد، اما برای بسیاری از مناطق جهان نیز معرف و شاهد می‌باشد. نیتروژن کمتری در ذرت کاشته شده پس از سویا در مقایسه با تناوب ذرت. ذرت باید مصرف گردد. ذرت به‌دنبال مرتع چندساله مخلوط یونجه و علف پشمکی به اضافه‌کردن نیتروژن به‌ندرت عکس‌العملی را بروز دهد. مزایای تناوب غیراز تأمین نیتروژن از این حقیقت ناشی می‌شود که صرف‌نظر از میزان کود شیمیایی مصرف‌شده کشت ذرت پس از ذرت عملکرد کمتری از ذرت در تناوب با محصولات دیگر تولید می‌کند.

۱۶-۵ بازچرخ عناصر غذایی در کود دامی

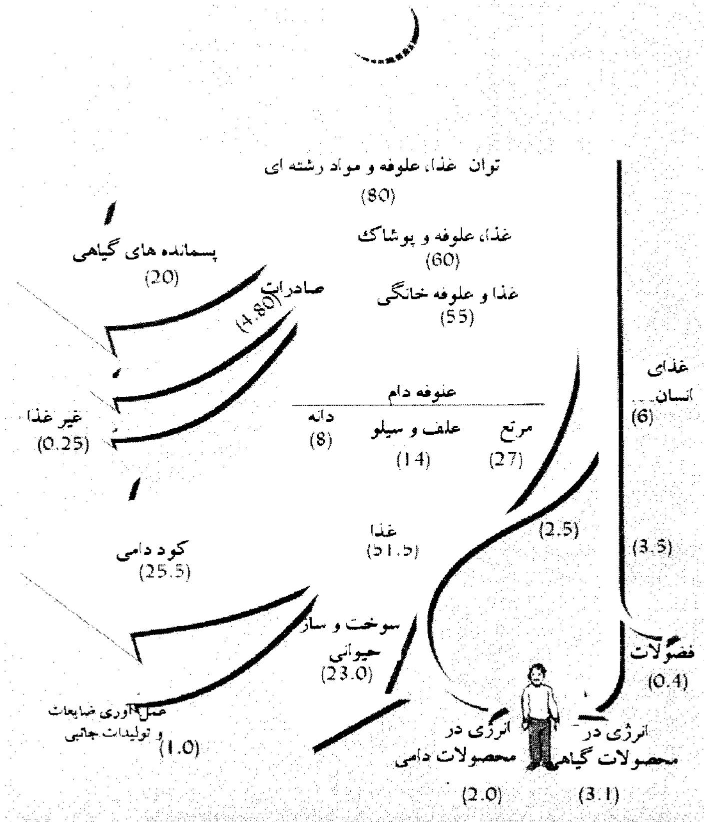
قرن‌ها است که استفاده از کود دامی مترادف با کشاورزی پایدار و موفق می‌باشد. کود دامی نه‌تنها ماده‌ی آلی و عناصر غذایی را برای خاک تأمین می‌کند، بلکه در ارتباط با کشاورزی نیروی دامی و گیاهان علوفه‌ای بوده که هر دو سبب حفاظت خاک می‌شوند. بخش زیادی از انرژی خورشیدی به‌وسیله‌ی نباتات درحال رشد اخذ شده نهایتاً به‌صورت کود دامی در می‌آید(شکل۱۲-۱۶)، که تولید محصولات و حفاظت خاک با استفاده از آن ارتقای می‌یابد.

مقادیر عظیمی کود دامی هر سال برای برگرداندن احتمالی به اراضی موجود است برای هر کیلوگرم وزن زنده‌ی حیوانات مزرعه حدود ۴ کیلوگرم کود دامی خشک در هر سال تولید می‌شود. در آمریکا جمعیت احشام مزارع ۱۰ برابر مواد جامد کودی بیشتر از انسان‌ها دفع می‌کنند.

این کودهای دامی حاوی عناصر غذایی امکانی قابل‌توجه برای چرخه‌ی عناصر اصلی فراهم می‌آورند. متأسفانه، در ایالات متحده و سایر کشورهای صنعتی تولید متمرکز احشام «کارخانه‌ها» (جدول ۶-۱۶) به‌وجود آمده‌اند، که در آن‌ها مسأله دفع کود دامی بر استفاده از کود به‌عنوان یک منبع غذایی سایه می‌اندازد (شکل ۱۳-۱۶). ده‌ها و حتی صدها هزار از احشام در پرواربندی‌ها تمرکز یافته و دفع فضولات آن‌ها یک چالش به‌حساب می‌آید. از طرف دیگر، وقتی کود دامی در زیر پای احشام قرار دارد، و یا بعد از آن‌که به‌صورت کپه‌های بزرگی جمع‌آوری می‌شود، بیشتر نیتروژن آن به‌صورت آمونیاک طی فرایند نیترات‌زدایی به نیوار باز می‌گردد. مقداری نیز به‌صورت نیترات مورد آبشویی قرار می‌گیرند (جدول ۷ -۱۶). آب زیرزمینی در این پرواربندی‌ها اغلب به‌وسیله‌ی نیترات و عوامل بیماری‌زا آلوده شده‌اند و برای آشامیدن مناسب نمی‌باشند.

برای تجسم عظمت مسأله دفع کود دامی یک پرواربندی ۵۰۰۰۰ راسی گاو را در نظر بگیرید که سالانه ۹۰۰۰۰ مگاگرم کود دامی پس از تجزیه مقدار قابل‌ملاحظه‌ای و هدررفت ادرار آن تولید می‌کند. اگر قرار باشد این کود هر دو سال یک‌بار به‌صورت مرسوم به مقدار ۲۵ مگاگرم در هکتار مصرف شود تا ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن را در هکتار تأمین کند به ۷۲۰۰ هکتار زمین نیاز خواهیم داشت. برای پیداکردن این

همه زمین، کود دامی احتمالاً باید ۱۲-۷ کیلومتر دورتر از پرواربندی جابه‌جا شود. برای صرفه‌جویی در هزینه‌های حمل‌ونقل، کود دامی معمولاً در مقادیر بیشتر از نیاز در خاک مصرف می‌شود، که نتیجه‌ی آن ایجاد زیان‌های شوری در نباتات و خاک‌ها، و واردشدن نیتروژن و فسفر به آب‌های سطحی، زیرزمینی می‌باشد. در طول زمان، به دوبرابر این مساحت زمین احتیاج خواهیم داشت. زیرا میزان مصرف کود دامی باید با منظورنمودن آزادشدن نیتروژن در مصارف کود در سال‌های قبلی کاهش یابد.

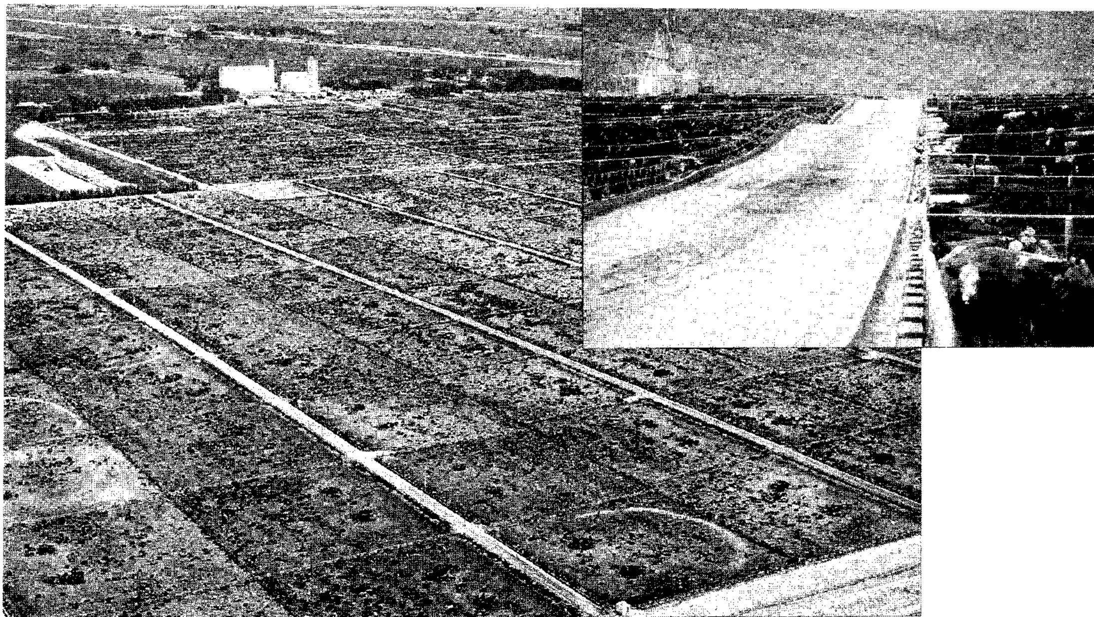


شکل ۱۲-۱۶ جریان انرژی برآوردشده برای زنجیره‌ی غذایی انسان در آمریکا (داده‌ها بر حسب میلیون‌ژول در سال) که نشان می‌دهد بخش زیادی از انرژی نهایتاً در کودهای دامی پیدا می‌شوند. حتی بخش بزرگ‌تری از عناصر غذایی (نشان داده نشده است) از زنجیره غذایی نهایتاً به کوددامی منتهی می‌شود.

جدول ۶-۱۶ کارخانه‌های تولید احشام

تمرکز تولید احشام در آمریکا در پرواربندی های عظیم و «کارخانه‌های» مخصوص تولید دام مفهوم استفاده از عنصر غذایی موجود در کود دامی را به‌عنوان امکانی در ارتقای تولید به یک معضل برای جلوگیری از آلودگی محیط زیست تبدیل کرده است.

احشام	میزان تراکم
گاو گوشتی	بیشتر از ۳/۱ گاو مورد خرید و فروش در بازار آمریکا از ۷۰ پرواربندی از ۴۵۰۰۰ پرواربندی ملی کشور حاصل می‌شود امکانات وسیعی در تگزاس – نبراسکاو کانزاس وجود دارد.
طیور	۹۷ درصد از طیور مورد خرید و فروش از واحدهایی حاصل می‌شود که بیشتر از ۱۰۰،۰۰۰ قطعه در سال مرغ گوشتی تولید می‌کنند.
خوک	در ایالت‌های کارولینای شمالی و جنوبی که صنعت پرورش خوک به‌طور روزافزونی در آن تمرکز یافته است، حدود ۸۰ درصد گوشت خوک از واحدهای حاصل می‌شود که ۵۰۰۰ راس و بیشتر دارند. در ایالت‌های که داری پرورش سنتی خوک هستند، این نسبت ۶٪ است.
گاو شیری	مزارع گاو شیری از ۲۵۰ هزار واحد در دهه‌ی گذشته به ۱۵۰ هزار واحد درحال حاضر تنزل یافته و تعداد گاوها در واحد به‌طور متوسط به بیشتر از ۵۰ درصد افزایش یافته است.



شکل ۱۳-۱۶ منظره‌ی هوایی از یک پرواربندی بزرگ در ایالت کلرادو که درآن ۱۰۰/۰۰۰ دام از دانه‌های وارده شده از مزارع دور تغذیه می‌کنند. عکس جای‌گذاری شده منظره نزدیک پرواربندی شبیه آن است. به‌نظر نمی‌رسد که مدیران پرواربندی قادر باشند عناصر غذایی موجود در کود دامی را به همان اراضی که علوفه دام‌ها در آن کشت بودند، باز چرخ کنند. در این موقعیت، کود دامی به‌جای آن‌که یک منبع غذایی باشد، یک مزاحم بدون استفاده بوده و نیازمند ازبین‌بردن است، چالش، پیداکردن راه‌هایی است که نظام کشاورزی را در یک حالت پایدار بوم‌شناسی حفظ کند.

ترکیب عناصر غذایی در کود دامی

از آن‌جاکه کود دامی مورد مصرف ترکیبی از مدفوع و ادرار به انضمام مواد بستر (کف‌پوش) و علوفه دور ریخته شده می‌باشد، ترکیب آن بسیار متغیر است (جدول ۸-۱۶). برای هر دام خاص مقدار آب و عناصر غذایی در یک مقدار مشخص کود دامی بسته به کیفیت علوفه، دام، مدیریت کود و شرایطی است که طی آن ذخیره شده است. تغییر در یک نوع حیوان درمقایسه با حیوانات مختلف دیگر (مثلاً کود جوجه‌ی کبابی در مقایسه با کود اسب)، حتی بیشتر است بنابراین، بایستی در تفسیر و اظهارنظر کلی درمورد ارزش و استفاده از کود دامی محتاط بود.

حیوانات بخش بزرگی از عناصر غذایی مصرف شده در علوفه خود را دفع می‌کنند به‌طور کلی حدود ۴/۳ نیتروژن ۵/۴ فسفر و ۱۰/۹ پتاسیم بلعیده شده به‌وسیله‌ی حیوان در کود دامی مشاهده می‌شود. به این دلیل کود دامی منبع با ارزشی از عناصر پر مصرف و کم‌مصرف می‌باشد. (جدول ۹-۱۶)

ادرار (به‌استثنای طیور که اسید اوریک جامد را به‌جای اوره تولید می‌کنند) و مدفوع اجزای با ارزش کود دامی می‌باشند. به‌طور متوسط حدود نصف نیتروژن، حدود تمام فسفر و حدود ۰/۴ پتاسیم در کود دامی جامد یافت می‌شود با این وصف مزیت بالای عنصر غذایی موجود در کود جامد درمقایسه با قابلیت استفاده آسان عناصر غذایی در ادرار کاهش می‌یابد. باید در مدیریت و انبارنمودن کود دامی برای به‌کمینه‌رساندن تلفات بخش مایع احتیاط کرد.

اطلاعات موجود در جدول ۹-۱۶ نشان می‌دهد که کود دامی در مقایسه با کود شیمیایی دارای عناصر نسبتاً پایین‌تری بوده و نسبت عنصر غذایی فسفر آن به‌مراتب کمتر از نیتروژن و پتاسیم است. براساس وزن خشک، کود دامی دارای ۲ تا ۵ درصد نیتروژن، ۰/۵ تا ۲ درصد فسفر و ۱ تا ۳ درصد پتاسیم می‌باشد این نسبت‌ها، ۲/۱ تا ۱۰/۱ نسبت‌های عناصر در کودهای شیمیایی جدید می‌باشد.

مادامی‌که کود دامی به‌طور خاص عمل نیامده باشد، به‌صورت خشک توزیع نمی‌شود. از آن‌جاکه این کود از حیوان دفع می‌گردد دارای درصد بالایی از آب است، که معمولاً از ۳۰ تا ۴۰ درصد در کود مرغی تا ۷۰ تا ۸۰ درصد برای گاو شیری متفاوت است (جدول ۹-۱۶ را مشاهده کنید). اگر کود تازه به‌صورت جامد مدیریت شده و به‌صورت مستقیم برروی زمین پخش گردد (شکل ۱۴-۱۶)، آب زیاد یک مزاحم بوده و سبب پرهزینه‌شدن حمل‌ونقل می‌شود. اما اگر کود دامی مدیریت گردیده و به‌صورت مایع و یا آبکی درآید، در این‌صورت

آب بیشتری نیز باید اضافه گردد. درهرحال این آب سبب رقیق‌شدن میزان عناصر غذایی کود در صورت توزیع معمولی در مزرعه خواهد شد تا جایی که مقادیر، بسیار پایین‌تر از آن‌ها که در مورد کود دامی خشک ارائه گردید، خواهد شد. میزان آب زیاد حمل‌ونقل کود دامی را به مزارع دورتر که در آن‌جا فوق‌العاده مورد نیاز می‌باشد مشکل می‌سازد.

جدول ۷-۱۶ اثرات خاک و خصوصیات محل در درصد چاه‌هایی که در یک مطالعه مزرعه‌ای دارای غلظت نیتروژن نیتراته ۱۰ میلی‌گرم در لیتر بوده‌اند، بالاترین سطحی که برای مصرف انسان مناسب است. حدود، ۳۵۰۰۰ چاه در ۵ ایالت مرکز غرب نمونه‌برداری شد. توجه کنید که مناطق با خاک‌های شنی، نزدیک اراضی زارعی، اصطبل‌ها، و مناطق با چاه‌های کم‌عمق دارای بالاترین سطح نیترات بودند. ۲۵ درصد مناطق با چاه‌های کم‌عمق که نزدیک اصطبل‌ها بودند دارای میزان نیتروژن نیتراتی بالاتر از ۱۰ میلی‌گرم در لیتر بودند.

خصوصیات	تعداد چاه‌ها	درصد با سطح نیترات بیشتر از ۱۰ میلی‌گرم در لیتر
بافت خاک		
شنی	۲۴۱۲	۷/۲
متوسط	۶۷۸۹	۴
رسی	۶۴۱۵	۳/۱
نزدیکی به اراضی زارعی		
در فاصله ۶ متر	۱۶۸۴	۶/۴
در فاصله ۶۰ متر	۸۵۷۴	۴/۸
خارج از دید	۳۰۹۸	۱/۸
نزدیکی به پرواربندی‌ها و اصطبل‌ها		
در فاصله ۶ متر	۷۰۴	۱۲/۲
در فاصله ۶۰ متر	۳۵۹۴	۵/۲
خارج از دید	۷۵۲۰	۲/۸
عمق چاه		
متر ۱۵ > کم‌عمق	۳۴۶۷	۹/۷
متر ۳۰ < عمیق	۵۱۰۶	۱/۱
دو عامل و یا بیشتر		
چاه کم‌عمق، نزدیک اراضی زارعی	۳۹۳	۱۲/۲
چاه کم‌عمق، نزدیک اصطبل‌ها	۱۵۸	۲۵/۳
چاه کم‌عمق، خاک شنی، نزدیک اراضی زراعی	۷۰	۲۰

جدول ۸- ۱۶ نمونه‌ای از ترکیب متغیر کود دامی : اطلاعات بر اساس ۲۸ نمونه از کود اسبی ارسالی به یک آزمایشگاه طی ۵ سال می‌باشد.

	نیتروژن کل	نیتروژن محلول	فسفر	پتاسیم	آب
درصد وزن کود تازه					
کمترین عدد	۰/۲۱	۰	۰/۰۴	۰/۰۷	۳۹
بیشترین عدد	۰/۸۵	۰/۱۴	۰/۷۵	۱	۸۰
عدد متوسط	۰/۵۱	۰/۰۳	۰/۱۶	۰/۳۵	۶۳

۶-۱۶ ذخیره کردن، بهبودو مدیریت کود دامی

وقتی دامپروری و زراعت در یک مزرعه تلفیق گردد، مدیریت کود دامی مسأله‌ای مهمی نخواهد بود (شکل۱۴-۱۶). استفاده از چراگاه می‌تواند در این نظام به بیشینه مقدار برسد تا حیوانات کود را در اثنای چرای خود توزیع کنند. کود دامی حاصل از حیوانات محصور در مقادیر چنان اندکی تولید می‌شود که هر روز می‌توان آن‌را به مزرعه انتقال داده، و یا در مواقعی که شرایط خاک برای توزیع مناسب نیست در محل مسقف ذخیره گردد. مقدار کل عناصر غذایی موجود در کود دامی تولیدشده در مزرعه در این نظام مقداری کمتر از نیاز گیاهان کاشته شده می‌باشد بنابراین، مقادیر نسبتاً کم کود شیمیایی برای جبران تفاوت لازم است.

وقتی حیوانات در محل‌های محصورشده بزرگ به تعداد زیاد تمرکز یابند، مسأله‌ی دفع کود دامی بر استفاده از آن پیشی خواهد گرفت. ۴ نظام مدیریتی کلی کود دامی مورد استفاده می‌باشد. اول، جمع‌آوری و توزیع روزانه‌ی کود دامی، یک راه‌حل مطلوب است که معمولاً به‌کار نمی‌رود. دوم، جمع‌آوری و تراکم کود در کپه‌هایی که در آن امکان تجزیه‌ی قبل از توزیع تا حدی فراهم می‌شود. ممکن‌است در بعضی پرواربندی‌ها کود دامی و بعضی ضایعات علوفه‌ای به‌صورت کپه‌هایی در محیط باز تمرکز یابد. سوم، ذخیره و فراوری در استخرهای دارای تهویه، که یا به اندازه‌ی کافی کم‌عمق بوده که امکان اکسایش مواد آلی در آن فراهم است و یا اکسیژن با کود آبکی مخلوط می‌شود. چهارم، ذخیره و فناوری به‌صورت مایع غیرهوازی در مخازن عمیق، که در آن به کود اجازه داده می‌شود در نبود اکسیژن عنصری تخمیر گردد، متان و آمونیاک گازهای معمول این تخمیر بوده و نیترات‌زدایی در آن به‌مقدار زیادی صورت می‌گیرد. وقتی تجزیه مواد آلی مقدار زیادی در این مخازن صورت گرفت، باقی‌مانده آن‌ها که شامل بعضی عناصر غذایی مثل نیترات است، می‌تواند به‌شکل مایع در خاک مصرف گردد.

هرکدام ز این روش‌های مدیریتی در مدیریت عناصر غذایی کود مؤثر می‌باشد (جدول ۱۰-۱۶). بیشترین هدررفت عناصر غذایی، به‌ویژه نیتروژن، هم از ذخیره‌ی کود در فضای باز و هم از ذخیره‌سازی در مخازن عمیق صورت خواهد گرفت. در ذخیره کود در فضای باز بیشتر به‌صورت گاز آمونیاک تصعید گشته (بخش۶-۱۲ را مشاهده کنید)، و مقدار قابل‌توجهی عناصر غذایی براثر بارندگی آبشویی خواهد شد. متأسفانه، کف بسیاری از این مخازن عمیق و استخرها برای کاهش نشت با رس پوشیده نشده‌اند. آب و عناصر غذایی اضافی می‌توانند در داخل دیواره‌های مخازن عمیق به آب زیرزمینی و داخل رودخانه‌ها و دریاچه‌ها وارد شوند و سبب طغیان جلبک‌ها، غنی‌شدن و مرگ ماهی‌ها و سایر حیوانات وحشی شوند. روشن است بازچرخ عناصر غذایی در فهرست اولویت‌های اکثر طرح‌های مخازن عمیق پایین می‌باشد. روش‌های مدیریت کود دامی که هم از آلودگی ممانعت نموده و هم عناصر غذایی را در شکلی نگهداری می‌کند که به آسانی قابل انتقال و به‌صورت تجاری قابل فروش باشد کمک بسیار بزرگی به بهبود مسأله‌ی کود دامی در موسسات پرورش دام خواهند کرد. گزینه‌های مختلفی در حال حاضر ابداع شده است که سه نوع آن در زیر مورد تشریح قرار خواهد گرفت.



شکل۱۴-۱۶ پخش کود دامی جامد روی اراضی زراعی سبب بازچرخ مؤثر عناصر غذایی شده اما برای زارع کاربر و زمان‌گیر است. حجم زیادی کود برای کوددادن این مزرعه باید حمل گردد. کود دامی هرچه سریع‌تر پس از پخش باید با خاک مخلوط شود و پخش کود بر روی خاک یخ‌زده انجام نگیرد. تنظیم دستگاه‌های پخش‌کننده برای جلوگیری از مصرف بیش از حد غیرعمدی عناصر غذایی باید انجام گیرد.

جدول۹-۱۶ منابع عناصر غذایی آلی قابل‌استفاده معمول: میزان عناصر غذایی و سایر خصوصیات آن‌ها

مواد	آب[الف]	نیتروژن	درصد وزن خشک					گرم در مگاگرم وزن خشک						ملاحظات
	درصد	کل	فسفر	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	گوگرد	آهن	منگنز	روی	مس	بر	مولیبدن	
کود مرغی (جوجه کبابی)[ب]	۳۵	۴/۴	۲/۱	۲/۶	۲/۳	۱	۰/۶	۱۰۰۰	۴۱۳	۴۸۰	۱۷۲	۴۰	۰/۷	ممکن‌است دارای کربن زیاد بستر، ارسنیک و نمک‌های محلول آمونیاک باشد
کود گاوی (گاو شیری)	۷۵	۲/۴	۰/۷	۲/۱	۱/۴	۰/۸	۰/۳	۱۸۰۰	۱۶۵	۱۶۵	۳۰	۲۰	–	ممکن‌است دارای کربن زیاد بستر باشد
کود خوک[ج]	۷۲	۲/۱	۰/۸	۱/۲	۱/۶	۰/۳	۰/۳	۱۱۰۰	۱۸۲	۳۹۰	۱۵۰	۷۵	۰/۶	ممکن‌است دارای مقادیر بالای Cu باشد
کود گوسفندی	۶۸	۳/۵	۰/۶	۱	۰/۵	۰/۲	۰/۲	–	۱۵۰	۱۷۵	۳۰	۳۰	–	–
کود اسبی	۶۳	۱/۴	۰/۴	۱	۱/۶	۰/۶	۰/۳	–	۲۰۰	۱۲۵	۲۵	–	–	ممکن‌است دارای کربن زیاد بستر باشد
کود گاوی(پرواربندی)[د]	۸۰	۱/۹	۰/۷	۲	۱/۳	۰/۷	۰/۵	۵۰۰۰	۴۰	۸	۲	۱۴	۱	ممکن‌است دارای درصد نمک زیاد(تا ۱۵ درصد)باشد
کود سبز چادار جوان	۸۵	۲/۵	۰/۲	۲/۱	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۴	۱۰۰	۵۰	۴۰	۵	۵	۰/۰۵	عناصر غذایی در مراحل رشد نهایی نبات کاهش می‌یابد
علف نیامدار خراب‌شده	۴۰	۲/۵	۰/۲	۱/۸	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۱۰۰	۱۰۰	۵۰	۱۰	۱۵۰۰	۳	–
کمپوست فضولات جامد شهری[ه]	۴۰	۱/۲	۰/۳	۰/۴	۳/۱	۰/۳	۰/۳[و]	۱۴۰۰۰	۵۰۰	۶۵۰	۲۸۰	۶۰	۷	ممکن‌است دارای نسبت C/N زیاد وفلزات سنگین شیشه و پلاستیک باشد
لجن فاضلاب	۸۰	۴/۵	۲	۰/۳	۱/۵[ز]	۰/۲	۰/۲	۱۶۰۰۰	۲۰۰	۷۰۰	۵۰۰	۱۰۰	۱۵	ممکن‌است دارای نمک‌های محلول و فلزات سنگین درحد سمیت باشد
مواد زائد چوب	–	–	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۱/۱	۰/۲	۲۰۰۰	۸۰۰۰	۵۰۰	۵۰	۳۰	–	C/N زیاد باید با مصرف نیتروژن تکمیل شود

(الف)میزان آب برای کود تازه داده شده است. روش‌های فراوری و ذخیره میزان آب محتوی را به کمتر از ۵ درصد(خشک شده در حرارت)و پایین‌تر از۹۳٪(مایع کودی) می‌رساند.

(ب)ترکیب کود مرغی و کود گاو شیری به ترتیب از میانگین ۸۰۰ و۴۰۰ نمونه تعیین شده است.

(ج)ترکیب کود خوک،گوسفندی و اسب از اعداد اتحادیه ترویج کارولینای شمالی می‌باشد.

(د)ترکیب کود گاو پرواربندی در مطالعات اقبال و پاورز گزارش شده است.

(ه)ترکیب فضولات جامد شهری کمپوست‌شده بر اساس اطلاعات مختلف است.

(و)گوگرد موجود در سولفات

(ز)میزان FeوCa لجن فاضلاب تا ۱۰برابر بسته به روش عمل‌آمدن فاضلاب تغییر می‌کند

جدول ۱۰-۱۶ تأثیر روش‌های مدیریت و ذخیره در هدررفت عناصر غذایی در کود دامی. ارقام بیانگر دامنه‌ی درصد تلف‌شدن عناصر غذایی از زمان دفع کود تا مصرف آن در زمین می‌باشند.

روش مدیریت و ذخیره کود دامی		درصد هدررفت		
		نیتروژن	فسفر	پتاسیم
نظام جامد	پاک‌کردن و انتقال روزانه	۳۵-۱۵	۲۰-۱۰	۳۰-۲۰
	متراکم‌نمودن و کمپوست‌کردن آن	۴۰-۲۰	۱۰-۵	۱۰-۵
نظام مایع	ذخیره هوازی در مخزن (الف)	۲۵-۵	۱۰-۵	۵-۰
	ذخیره چاله‌ای غیرهوازی	۸۰-۷۰	۸۰-۵۰	۸۰-۵۰

الف) بیشتر فسفر و پتاس در نظام مخزن عمیق در کف چاله رسوب کرده فقط با تخلیه و لایروبی قابل‌استفاده خواهد بود.

خشک‌کردن به‌وسیله‌ی حرارت و حبه‌ای کردن

این فناوری کود دامی را به‌وسیله‌ی حرارت خشک کرده و سپس محصول خشک‌شده را تحت فشار به حبه‌های کوچکی تبدیل می‌کند، که همانند کودهای شیمیایی می‌توان با آن‌ها رفتار نمود. این روش فرایند کود دامی نیازمند مصرف انرژی و سرمایه‌گذاری مالی قابل‌ملاحظه‌ای می‌باشد، اما محصول در صنایع تولید چمن و طراحی چشم‌انداز که سرمایه زیادی برای کودهای شیمیایی کُند آزادکننده عناصر قبلاً در آن مصرف می‌شد، مورد درخواست می‌باشد.

کمپوست‌کردن تجارتی

روش دوم درحال تکامل کمپوست‌کردن پیشرفته کود دامی می‌باشد (بخش ۵-۱۲ را مشاهده کنید). درمورد کود مرغی، پرندگان مرده همراه با کود مرغی کمپوست‌شده و تولید تولید نهایی بسیار پایدار، بدون بوی مشمئزکننده، غنی از عناصر غذایی کُندآزادکننده عناصر غذایی است که به‌آسانی قابل مصرف بوده و مشتاقانه موردپسند بازار قرار گرفته است. کمپوست‌کردن یک فرایند تجزیه‌ی هوازی است و درمقایسه با روش خشک‌کردن و حبه‌ای‌کردن نیازمند سرمایه و انرژی کمتر می‌باشد.

هضم غیرهوازی و تولید بیوگاز

در این روش کود دامی به‌صورت محلول آبکی درآمده و امکان می‌یابد که به‌شکل غیرهوازی (هوا درداخل آن مخلوط نمی‌شود) در آید. همان‌طورکه در بخش ۲-۱۲ بیان گردید، گاز متان یکی از تولیدات عمده گازی تجزیه غیرهوازی می‌باشد. بیوگاز تولیدشده به‌وسیله‌ی هضم غیرهوازی کود دامی شامل ۸۰ درصد متان و ۲۰ درصد گازکربنیک است، این گاز می‌تواند بسیار شبیه گازهای تجاری طبیعی سوزانده شود. در کشورهای درحال توسعه تلاش کرده‌اند که هضم غیرهوازی کود دامی مقیاس کوچک را برای تأمین سوخت پخت‌وپز و گرمای منازل در روستاهای دور از دسترس مورد استفاده قرار دهند.

اخیراً موسسات تجاری متعددی در آمریکا برای تولید بیوگاز از کود دامی در مقیاس بزرگ استقرار یافته‌اند. این گاز عمدتاً برای تولید برق مورد استفاده قرار گرفته و به شرکت‌های محلی فروخته می‌شود. مایع باقی‌مانده پس از هضم هنوز دارای اکثر عناصر غذایی کود دامی می‌باشد (گرچه بیشتر کربن آلی به گاز تبدیل شده است) و می‌تواند به مزارع نزدیک تلمبه شده، و یا مورد فراوری بیشتر با کاربرد روش‌های فوق‌الذکر برای فروش و توزیع گسترده‌تر قرار گیرد.

ممکن‌است در آینده این فراوری‌ها همراه با نظام‌های جامع زراعت و دامداری، عدم تعادل جدی عناصر غذایی حاصل‌شده را با توجه به کود دامی در زراعت نوین، التیام بخشد.

۷-۱۶ فرآورده‌های جانبی صنعتی و شهری

احشام مزارع تنها تولیدکننده‌ی ضایعات حاوی عناصر غذایی در مقادیر زیاد نمی‌باشند. مردم و فعالیت‌های صنعتی آن‌ها نیز تولیدکننده ضایعات، عمدتاً درنقاط نسبتاً پرجمعیت شهری هستند. ۴ نوع فضولات آلی عمده که برای استعمال در اراضی دارای اهمیت می‌باشند، عبارتند از (۱)زباله‌ی شهری، (۲)پساب و لجن فاضلاب، (۳)ضایعات فراوری محصولات غذایی، (۴)ضایعات صنایع الوار و

چوب. به‌دلیل نامشخص بودن محتوای عناصر سمی، سایر ضایعات صنعتی ممکن‌است به‌عنوان منابع کود آلی و عناصر غذایی برای استعمال در اراضی موردقبول قرار گرفته و یا قرار نگیرند.

نگرانی جامعه برای کیفیت محیط زیست، تولیدکنندگان ضایعات را مجبور ساخته است که در فکر پیداکردن راه‌های غیرآلاینده اما قابل‌انجام در دفع این مواد باشند. اگرچه دلیل عمده اضافه‌کردن این ضایعات به اراضی دفع سالم و مطمئن آن‌هاست، این ضایعات به‌عنوان منابع ارزشمند مواد اصلاح‌کننده خاک در کشاورزی، جنگل و احیای اراضی فرسایش‌یافته عمل می‌کنند. این مواد که زمانی فقط به‌صورت محصولات زاید که باید به رودخانه و دریا ریخته شوند در نظر گرفته می‌شوند امروزه به‌طور چشم‌گیری به‌عنوان منابع عناصر غذایی و ماده‌ی آلی، که می‌توانند به‌گونه‌ای سودمند برای ارتقای توان تولید خاک مصرف شوند، تلقی می‌گردند.

زباله‌ی شهری

مصرف زباله‌ی شهری، که به‌طور سنتی در کشور چین و سایر کشورهای آسیایی به‌طور گسترده‌ای برای افزایش تولید محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد، در آمریکا و اروپا نیز به‌گونه‌ی وسیعی درحال گسترش می‌باشد. ابتدا فلز و شیشه و غیره از زباله‌ی شهری جدا گردیده و ضایعات آلی شهری کمپوست می‌شوند. گاهی همراه با لجن فاضلاب، کود مرغی و یا سایر مواد غنی از عناصر غذایی برای تولید کمپوست زباله‌های[1]، جامد شهری (ز، ج، ش) استفاده گردیده، بعداً در اراضی مصرف می‌شوند. بیشتر زباله‌ی شهری درآمریکا سوزانده شده و یا در داخل زمین مدفون می‌گردند (بخش ۱۱–۱۸ را مطالعه کنید). اما با توجه به کیفیت هوا و کمبود مناطق دفن زباله، مصرف این مواد را در خاک، به‌عنوان وسیله‌ای برای دفع آن‌ها، به‌مقدار زیادی با اقبال مواجه کرده است. از آن‌جاکه میزان عناصر کمپوست حتی کمتر از اکثر کودهای دامی است (جدول ۹–۱۶)، و فاصله منبع این مواد تا مزارعی که باید در آن‌ها به‌عنوان اصلاح‌کننده مصرف گردند زیاد است، کمپوست (ز، ج، ش) با توجه به هزینه حمل‌ونقل بیشتر در معرض محدودیت اقتصادی می‌باشد. از طرف دیگر، شهرداری‌ها مجبورند که این مواد را به‌صورتی دفع کنند. هزینه حمل‌ونقل کمپوست (ز، ج، ش) برای مصرف در اراضی از نظر اقتصادی قابل رقابت با گزینه‌های دیگر دفع زباله می‌باشد، همانند کود دامی، در بعضی مناطق شیوه‌ای برای تولید محصول مطلوب برای فروش به طراحان چشم‌انداز و اصلاح‌کنندگان خاک و یا محیط کشت به‌وجود آمده است.

ضایعات صنایع غذایی

استفاده از ضایعات کارخانه‌های صنایع غذایی در موارد خاصی انجام شده است، اما این عملیات تقریباً به‌طور کامل در ارتباط با کاهش آلودگی بوده و به تولید محصولات زراعی توجهی نداشته است. ضایعات آبکی معمولاً به‌صورت آبیاری بارانی در گندمیان علفی دائمی مورد استفاده قرار می‌گیرند. برنامه‌های فراوری کارخانه زمان و مقدار استعمال را به ما تحمیل می‌کند، که ممکن‌است برای تولید بهینه‌ی محصولات زراعی مناسب نباشد.

خاک اره

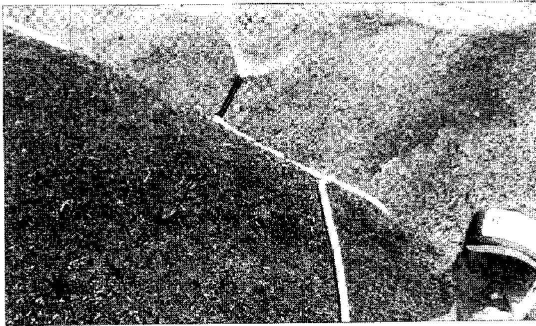
خاک اره با قطعات چوب و رشته‌های پوست درخت در صنایع الوار و چوب از مدت‌ها قبل به‌عنوان منبع مواد اصلاح‌کننده‌ی خاک و خاک‌پوش به‌خصوص برای باغچه‌های خانگی و چشم‌اندازهای طبیعی، مصرف داشته است. این ضایعات از نظر لیگنین و مواد مربوطه غنی بوده و دارای نسبت C/N بسیار بالایی می‌باشند که با کُندی فراوان که خصوصیت مناسبی برای خاک‌پوش‌ها می‌باشند تجزیه می‌گردند، گرچه آن‌ها به آسانی عناصر غذایی را تأمین نمی‌کنند. در واقع، خاک اره مخلوط شده با خاک برای بهبود خصوصیات فیزیکی ممکن‌است باعث شود که گیاهان با کمبود نیتروژن روبرو گردند، مگر منبع اضافی نیتروژن همراه با خاک اره مصرف شود.

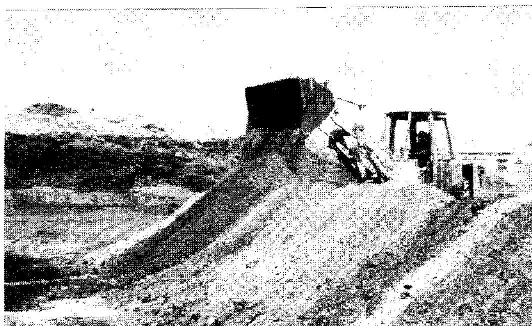
بازچرخ به‌وسیله‌ی کمپوست‌کردن

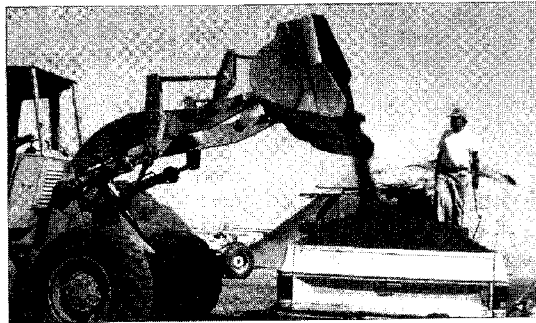
دفع کوه‌ها زباله‌ی آلی شهری و خانگی، با تمام عناصر غذایی موجود در آن‌ها، یک چالش زیست‌محیطی است. در گذشته اکثر این ضایعات در آمریکا راه خود را به داخل هزاران چاله‌ی دفع زباله پیدا نمودند. تعداد نقاط دفع زباله در ۲۰ سال گذشته ۷۵ درصد کاهش یافته، و پیامدهای زیست‌محیطی انباشتن مواد آلی در این مناطق بیشتر روشن شده است؛ بنابراین، سایر گزینه‌های غیرمتمرکز مدیریت این مواد آلی مورد تفکر قرار گرفته است.

---
[1]- Municipal Solid Waste (MSW)

در میان گزینه‌هایی که به‌طور بسیار گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته، عملیات کمپوست‌کردن است که ضایعات خانگی، باغی و حتی صنعتی را در یک نظام مدیریتی فعال تلفیق نموده است. شاخه‌های درختان هرس شده، ضایعات غذایی، آشغال فروشگاه‌های مواد خوراکی و کاغذ در کپه‌های کمپوست موادی مانند خاک اره، کود دامی و بعضی فضولات صنعتی تلفیق می‌شوند. وقتی رطوبت مناسب تأمین گردد، تجزیه صورت‌گرفته در طول زمان مواد کمپوست‌شده که رشد گیاه را سبب خواهد شد برای بازچرخ مجدد در اراضی آماده خواهند بود. (بخش ۵-۱۲ را مطالعه کنید). مناطقی که کمپوست‌سازی آن‌جا انجام می‌گیرد ممکن‌است شامل عملیات کوچک و بزرگی باشد که به‌وسیله‌ی گروه‌ها، بنگاه‌های کوچک و یا حتی افراد انجام شود(شکل ۱۵-۱۶). تعداد این امکانات در بین سال‌های ۱۹۸۹ و ۱۹۹۶ بیش از ۴ برابر افزایش یافته است.









شکل۱۵-۱۶ تجهیزات کمپوست‌کردن در شهر فی‌نیکس اریزونا که ماده‌ی آلی برای استفاده زمین‌نمای شهری تولید می‌کند. (قسمت بالا چپ) زباله‌های کشتارگاه‌ها، قطعات چوب مزارع، خاک اره، کود دامی و خاک لوم شنی به‌صورت یک کپه با همدیگر مخلوط می‌شوند.(بالا راست) نظام آبیاری بارانی سبب مرطوب نگاه‌داشتن کپه‌ها و تسریع فعالیت میکروبی می‌شود. (پایین چپ) کپه‌ها از یک ردیف به ردیف دیگر جابه‌جا شده و بنابراین، سبب مخلوط‌شدن هرچه بیشتر اجزای و تضمین تهویه بهتر می‌گردد. این فرایند باعث می‌شود که دما در قسمت داخلی کپه‌ها به°C ۸۰- ۶۰ برسد. بعد از ۸-۶ هفته فعالیت میکروبی فروکش کرده و دما دیگر بالا نمی‌رود.(پایین راست) مواد کمپوست‌شده اکنون برای انتقال به منازل و سایر تأسیسات شهری آماده است تا در آن‌جا برای ایجاد باغچه‌ها و بوستان‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

۸-۱۶ پساب‌ها و لجن فاضلاب

عمل‌آوری فاضلاب طی قرن گذشته درپاسخ به خواسته‌های جامعه و مقررات تدوین‌شده برای جلوگیری از آلودگی رودخانه‌ها و اقیانوس‌ها براثر عوامل بیماری‌زا، مواد آلی نیازمند اکسیژن و غنی‌سازی آن‌ها به‌وسیله‌ی عناصر غذایی دچار تحول گردیده است. تلاش‌های شدیدتر برای پاک‌کردن فاضلاب قبل از برگشت آن به آب‌های طبیعی دارای دو پیامد اساسی می‌باشد. (۱) مقدار مواد جداشده در فاضلاب در فرایند عمل‌آوری آن به‌طور سرسام‌آوری افزایش یافته است. این مواد که لجن فاضلاب و یا مواد جامد[1] زیستی نامیده می‌شوند باید به‌طور سالم نیز توزیع گردند (۲) هدف عمل‌آوری پیشرفته‌ی فاضلاب، جداسازی عناصر غذایی (عمدتاً فسفر، نیتروژن نیز درحال افزایش است) از مایع رویی فاضلاب[2] (پساب عمل آمده که به رودخانه باز می‌گردد) می‌باشد، کاری است که به‌طور سالم و اقتصادی با ایجاد برهم‌کنش پساب نسبتاً عمل آمده با نظام خاک و نبات صورت می‌گیرد. بنابراین، توجه به استفاده از خاک‌ها برای مسأله‌ی فاضلاب به دو

1-Sludge or biosolids
2 -effluent

طریق زیر رو به افزایش است (۱) به‌عنوان یک نظام هضم‌کننده، بازچرخ‌کننده و دفع‌کننده‌ی لجن فاضلاب (۲) وسیله‌ای برای حذف و برداشت نهایی عناصر غذایی و مواد آلی موجود در مایع فاضلاب.



شکل ۱۶-۱۶ اصلاح نهایی مایع فاضلاب و تغذیه‌ی آب زیرزمینی به‌وسیله‌ی فرایندهای طبیعی خاک و گیاه در این جنگل آبیاری شده با مایع فاضلاب در خاک‌های التی‌سول در نزدیک اتلانتا در ایالت جرجیا انجام می‌گیرد. جریان عناصر غذایی، کیفیت آب زیرزمینی و رشد درخت با دقت نظارت می‌شود. بخشی از تولیدات فراوان چوب به‌عنوان منبع انرژی در راه‌اندازی نیروگاه تصفیه فاضلاب به‌کار می‌رود.

مایع فاضلاب (پساب)

پساب فاضلاب ده‌ها سال است که در اروپا و مناطق خاصی از آمریکا در اراضی مورداستفاده قرار می‌گیرد. بعضی از شهرها دارای مزارع فاضلاب مربوط به‌خود می‌باشند که برروی آن‌ها محصولات زراعی مخصوصاً علوفه و غذای دامی برای جبران بعضی از هزینه‌های دفع فاضلاب تولید می‌شود. شهر موسگاجن، در ایالت میشیگان[1] آمریکا همانند پاریس در کشور فرانسه، ده‌ها سال است که این مزارع را اداره می‌کند. ممکن‌است مایع فاضلاب درآینده به‌عنوان منبع ماده‌ی آلی، عناصر غذایی و آب برای تولید محصولات اهمیت بیشتری پیدا کند.

یکی از راه‌های بسیار سودمند استفاده از پساب غنی از عناصر غذایی، آبیاری اراضی جنگلی با آن‌ها می‌باشد (شکل ۱۶-۱۶). این روش پیشرفته‌ی مصرف فاضلاب به‌وسیله‌ی تعدادی از شهرها در سراسر جهان مورد استفاده قرار گرفته است، آبیاری جنگل‌ها یک روش باصرفه است که حاصل نهایی آن پاک‌کردن پساب بوده و رشد درختان می‌تواند به‌عنوان پاداش اضافی تلقی گردد. میزان تولید چوب براثر اضافه‌شدن آب اضافی و فزونی عناصر غذایی تأمین شده به مقدار زیادی افزایش می‌یابد.

در یک نظام آبیاری دقیق طراحی و نظارت‌شده‌ی پساب، ترکیب فرایندهای: (۱) جذب عناصر به‌وسیله‌ی درختان (۲) جذب اجزای آلی و معدنی به‌وسیله‌ی کلوییدهای خاک (۳) تجزیه‌ی ترکیبات آلی به‌وسیله‌ی ریزجانداران خاک، نهایتاً سبب تمیزشدن پساب می‌شود. فرونشست آب تمیز شده سبب جایگزینی و تأمین آب زیرزمینی می‌گردد.

لجن فاضلاب[2]

لجن فاضلاب (بعضی مواقع مواد جامد زیستی نامیده می‌شود)، عبارت از محصول فرعی جامد تأسیسات عمل‌آوری فاضلاب شهری و یا صنعتی می‌باشد (شکل ۱۷-۱۶). این ماده ده‌ها سال است که در اراضی مصرف می‌شود و به‌نظر می‌رسد استفاده از آن در آینده افزایش یابد. محصول میل‌ارگانیت[3]، لجن فاضلاب خشک شده است که به‌وسیله‌ی کمیسیون فاضلاب‌های میلواکی[4] به‌فروش رسیده و به‌طور

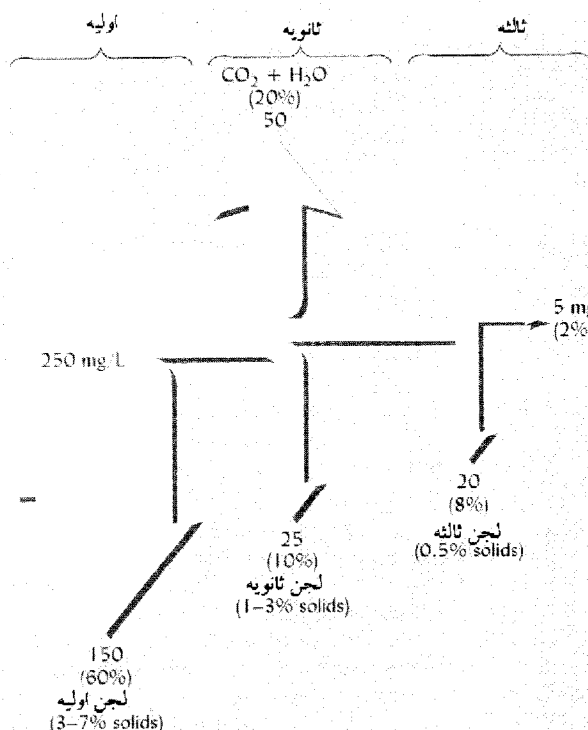
---

1 - Muskegon,Michigan
2 -Sewage sludge
3 -Milorganite
4 -Milwakee Sewerage Commission

گسترده در آمریکای شمالی از سال ۱۹۲۷ به‌خصوص بر روی چمن بازی گلف، مورد استفاده می‌باشد. شهرهای متعدد دیگر بازار محصولات کمپوست‌شده‌ی لجن فاضلاب را برای مصرف در چشم‌اندازها وسایر استفاده‌های اختصاصی دردست‌دارند. هرچند حجم بزرگی از لجن فاضلاب مصرف‌شده در روی اراضی به‌صورت کود آبکی و ذرات خشک‌شده می‌باشد، ذرات خشک‌شده با ۴۰ تا ۷۰ درصد آب هزینه‌ی حمل‌ونقل کمتری دارد درصورتی‌که مایع فاضلاب حاوی ۸۰ تا ۹۰ درصد آب می‌باشد. خشک‌کردن و فراوری بیشتر سبب کاهش هزینه حمل‌ونقل می‌گردد که خود یک نکته‌ی قابل‌ملاحظه است، زیرا شهرهای بزرگ در پیداکردن زمین خیلی نزدیک برای دریافت مواد جامد زیستی(لجن فاضلاب) خود مشکل دارند. یک طرح روزانه بیشتر از ۶۰۰۰۰۰ کیلوگرم لجن فاضلاب فراوری شده را به‌وسیله‌ی ترن از شهر نیویورک به تگزاس غربی در فاصله ۲۰۰۰ کیلومتر برای حفظ حاصلخیزی ۷۰۰۰ هکتار اراضی تخریب‌یافته‌ی مرتعی ارسال می‌دارد.

ترکیب لجن فاضلاب: همان‌طورکه انتظار می‌رود، ترکیب لجن فاضلاب از یک ایستگاه فراوری فاضلاب به ایستگاه دیگر بسته به سرشت و نوع فراوری که فاضلاب دریافت می‌دارد، به‌خصوص میزان هضم‌شدن مواد آلی متفاوت می‌باشد. مقادیر شاخص برای عناصر غذایی در جدول ۹-۱۶ داده شده است. همانند کود دامی و سایر محصولات زاید آلی، لجن فاضلاب سبب تأمین عناصر کم‌مصرف و همین‌طور عناصر پرمصرف غذایی می‌گردد. میزان عناصر غذایی کم‌مصرف فلزی (روی، مس، آهن، منگنز، نیکل) و سایر فلزات سنگین (کادمیم، کرم، سرب و غیره) عمدتاً به‌وسیله‌ی درجه مخلوط‌شدن ضایعات صنعتی با ضایعات خانگی مشخص می‌شود. در آمریکا، میزان فلزات در فاضلاب‌ها به‌خاطر برنامه‌های کاهش آلودگی منطقه‌ای منابع، که نیازمند امکانات صنعتی برای حذف آلودگی قبل از ارسال فاضلاب به ایستگاه‌های فراوری می‌باشد. امروزه از سابق بسیار کمتر است (بخش ۸-۱۸ را مشاهده کنید).

درمقایسه با کودهای شیمیایی معدنی، لجن فاضلاب معمولاً از نظر عناصر غذایی، به‌خصوص پتاسیم فقیر بوده و مقادیر شاخص نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب ۴، ۲ و ۰/۴ درصد می‌باشد (جدول ۹-۱۶). غلظت پتاسیم در لجن فاضلاب نسبتاً پایین است، زیرا اکثر پتاسیم موجود در فاضلاب به‌صورت محلول بوده و در مایع فاضلاب باقی می‌ماند. میزان فسفر بالاتر است. زیرا فراوری پیشرفته‌ی فاضلاب برای جداسازی فسفر از مایع فاضلاب و ترسیب آن در لجن فاضلاب، منظور می‌شود (تابلو ۲-۱۴ را مطالعه کنید). اگر فراوری سبب ترسیب فسفر، طی واکنش‌هایی با ترکیبات آهن و آلومنیوم گردد، فسفر موجود در لجن فاضلاب احتمالاً دارای قابلیت استفاده پایینی برای نباتات خواهد بود.



شکل ۱۷-۱۶ نمودار نشان‌دهنده‌ی جداسازی مواد معلق جامد. تیمار اولیه امکان جداسازی اکثر جامدات را از فاضلاب خام فراهم می‌سازد. تیمار ثانویه سبب اکسایش بیشتر ماده‌ی آلی و جداسازی بیشتر مواد جامد می‌شود. تیمار ثالثه معمولاً شامل استفاده از ترکیبات کلسیم و آلومنیوم و آهن برای جداسازی فسفر از پساب است.

۹-۱۶ استفاده‌ی عملی از منابع غذایی آلی

در بخش ۷-۱۲ بیان نمودیم که اصلاح خاک با اضافه‌کردن مواد آلی قابل تجزیه مانند کود دامی و لجن فاضلاب دارای اثرات بسیار مفیدی بر روی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک خواهد بود. در این‌جا ما توجه خود را به جنبه‌های مدیریت عناصر غذایی در استفاده از ضایعات آلی، چه مواد لجن فاضلاب، چه کود دامی وچه کمپوست زباله‌های جامد شهری معطوف می‌داریم. چند اصل کلی که در استعمال درست مواد در خاک از نظر بوم‌شناختی صادق می‌باشند عبارتند از:

۱) مقدار استعمال معمولاً تحت سیطره ی مقدار نیتروژن است که مواد آلی آن‌را برای گیاهان قابل‌استفاده می‌سازند. این اولین معیار است، زیرا نیتروژن در مقادیر زیاد موردنیاز اکثر نباتات می‌باشد. زیادی نیتروژن می‌تواند مسایل آلودگی را به‌وجود آورد(بخش۸-۱۳ را مطالعه کنید). هرچند باید اشاره داشت که نسبت $^{P}/_{N}$ دراکثر منابع آلی از بافت‌های گیاهی بالاتر است. بنابراین، اگر موادآلی مقدار نیتروژن کافی را برای رفع نیازهای نبات تأمین کنند، سبب ایجاد سطوح بالای فسفر خواهندشد که در استفاده‌ی درازمدت باید درنظر گرفته‌شود(بخش۲-۱۴ رامطالعه کنید). توان سمیت عناصر سنگین فلزی در بعضی موادآلی ممکن‌است میزان استعمال آن را دچار محدودیت کند(بخش۸-۱۸ رامطالعه‌کنید)

۲) بیشتر نیتروژن در منابع آلی، همانند اکثر کودهای شیمیایی، بلافاصله قابل استفاده نبات نبوده و ممکن‌است بخش کوچکی از نیتروژن در کود دامی و یا لجن فاضلاب در اشکال محلول (آمونیوم) بلافاصله قابل‌استفاده نبات باشد(بخش۱۱- ۱۶ را مطالعه کنید). اما اکثر نیتروژن باید براثر معدنی‌شدن میکروبی ترکیبات آلی آزاد گردد. جدول ۱۱-۱۶ درصد نیتروژن آلی را که احتمالاً در اولین، دومین و سومین سال بعد از استعمال کود آزاد می‌شود ارائه نموده است. توجه کنید موادی که در طول فراوری و مدیریت به طور نسبی تجزیه شده‌اند (مثل کمپوست‌ها و لجن هضم‌شده) درصد پایین‌تری نیتروژن را آزاد می‌کنند. میزان آزادشدن سایر عناصر غذایی کمتر بحرانی می‌باشد، زیرا قابلیت استفاده‌ی آن‌ها در منابع آلی اغلب قابل‌مقایسه (حتی در مورد عناصر کم‌مصرف بالاتر) با کودهای شیمیایی می‌باشد.

۳) اگر مزرعه‌ای هر سال به‌وسیله‌ی یک ماده‌ی آلی مورد تیمار قرار گیرد، میزان ماده‌ی آلی مورد نیاز به طور مرتب کاهش می‌یابد، زیرا بعد از سال اول میزان نیتروژن آزادشده از ماده‌ی آلی مصرف‌شده در سال قبل باید از کل مواد تازه‌ی موردمصرف کسر گردد (تابلو شماره ۱-۱۶ را تحت عنوان محاسبات برای تعیین میزان نیتروژن آلی مشاهده کنید).

۴) میزان عناصر غذایی و رطوبت مواد اصلاح‌کننده آلی به‌طور گسترده‌ای در بین منابع مختلف و حتی در یک بسته از مواد اصلاح‌کننده با بسته دیگر، از همان نوع متفاوت می‌باشد، بنابراین، به ارقام کلی مانند ارقام جدول ۹-۱۶ نباید برای محاسبه میزان مصرف متکی بود. درعوض، نمونه‌های مورد مصرف از مواد باید در آزمایشگاه تجزیه گردد. انجام تجزیه بر طبق قوانین حاکم بر تنظیم استعمال لجن فاضلاب در اراضی لازم می‌باشد اما سایر مواد خیلی زیاد تحت مقررات قرار نگرفته‌اند.

۵) در صورت مصرف عناصر غذایی موجود در منابع آلی در مزارعی که از نظر نیتروژن و فسفر نسبتاً فقیر می‌باشند بالاترین درآمد و حداقل خسارات زیست‌محیطی حاصل خواهد شد. متأسفانه هزینه حمل‌ونقل و راحت‌طلبی متأسفانه مشوق مصرف مواد آلی در اراضی نزدیک به منبع گردیده و اغلب منجر به عدم تعادل عناصر غذایی می‌شوند که در بخش ۵-۱۶ تشریح گردید.

جدول۱۱-۱۶ میزان آزادشدن نیتروژن معدنی از منابع مختلف نیتروژن آلی مصرف‌شده در خاک‌ها.

ارقام ارائه شده عبارتنداز درصد نیتروژن آلی موجود در مواد اصلی. برای مثال، اگر ۱۰ مگاگرم کود مرغی ابتدا دارای ۳۰۰ کیلوگرم (۳٪) نیتروژن در شکل آلی باشد ۵۰ درصد از این نیتروژن (۱۵۰ کیلوگرم) در سال اول معدنی خواهد شد، ۱۵ درصد دیگر (۴۵ کیلو) در سال دوم آزاد خواهد شد. این ارقام تقریبی بوده و باید در اقالیم گرمتر و خاک‌های شنی افزایش یابند.

منبع نیتروژن آلی	سال اول	سال دوم	سال سوم	سال چهارم
کود مرغی (آشغال کف)	۵۰	۱۵	۸	۳
کود گاوی (شیرده) جامد تازه	۳۵	۱۸	۹	۴
کود خوک (مایع غیرهوازی)	۵۰	۱۵	۸	۳
لجن فاضلاب هضم‌شده هوازی (تثبیت شده با آهک)	۴۰	۱۲	۵	۲
لجن فاضلاب هضم‌شده غیرهوازی	۲۰	۸	۴	۱
لجن فاضلاب کمپوست شده	۱۰	۵	۳	۲
لجن فاضلاب فعال تثبیت نشده	۴۵	۱۵	۴	۲

تابلو ۱-۱۶ محاسبه‌ی میزان ماده‌ی آلی برای تأمین نیتروژن یک زراعت

این مثال بر این اصل استوار است که میزان نیتروژن قابل‌استفاده در هر سال باید تأمین گردد و نباید از آن مقدار که گیاهان می‌توانند برای رشد بهینه مصرف کنند، بیشترشود. بنابراین، نرخ آزادشدن نیتروژن قابل استفاده معمولاً تعیین‌کننده‌ی میزان استعمال کود دامی، لجن فاضلاب و یا سایر منابع عناصر غذایی می‌باشد. مثال مزرعه‌ای است که ذرت ردیفی در دو سال متوالی تولید می‌کند. هدف، تولید ۷۰۰۰ کیلوگرم دانه ذرت در هکتار در سال است. این میزان عملکرد معمولاً نیازمند مصرف ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن قابل استفاده در هکتار می‌باشدکه انتظار می‌رود از یک لجن فاضلاب تثبیت‌شده به‌وسیله‌ی آهک تأمین گردد که دارای ٤/٥ درصد نیتروژن کل و ۰/۲ درصد نیتروژن معدنی می‌باشد (آمونیوم و نیترات). میزان رطوبت این لجن ۷۵ درصد است.

سال اول

محاسبه مقدار لجن مورد استعمال :

درصد نیتروژن آلی در لجن مساوی است با درصد نیتروژن معدنی - درصد نیتروژن کل = ٪ ٤/٥ - ٪۰/۲ =٤ /۳

میزان نیتروژن آلی در یک مگاگرم لجن برحسب کیلوگرم	۱۰۰۰ × ۰/ ۰٤۳ = ٤۳
میزان نیتروژن معدنی در یک کیلوگرم لجن برحسب کیلوگرم	۱۰۰۰ × ۰/ ۰۰۲ = ۲
نرخ معدنی‌شدن لجن فاضلاب تثبیت‌شده در سال اول (جدول ۱۱-۱٦) ٤۰ درصد نیتروژن آلی می‌باشد.	
نیتروژن قابل‌استفاده از یک مگاگرم لجن فاضلاب دراثر معدنی‌شدن در سال اول برحسب کیلوگرم	٤۳ ×۰/٤ = ۱۷/۲
نیتروژن کل قابل‌استفاده از یک مگاگرم لجن فاضلاب برحسب کیلوگرم	۱۷/۲ + ۲ = ۱۹/۲
میزان لجن خشک مورد نیاز بر حسب مگاگرم	۱۲۰÷۱۹/۲ = ٦/۲٥
میزان لجن مورد مصرف با ۷٥ درصد رطوبت و ۲٥ درصد ماده‌ی خشک برحسب مگاگرم	٦/۲٥ ÷۰/۲٥ = ۲٥

سال دوم

میزان نیتروژن معدنی‌شده در سال دوم در اثر مصرف لجن در سال اول (جدول ۱۱-۱٦) ۱۲ درصد نیتروژن آلی می‌باشد.	
نیتروژن معدنی‌شده از ٦/۲٥ تن لجن مصرف‌شده سال اول برای زراعت سال دوم، کیلوگرم	٦/۲٥ × ٤۳× ۰/۱۲ = ۳۲/۲٥
میزان نیتروژن کسری مورد نیاز برای زراعت بعد از مصرف لجن در سال دوم، کیلوگرم	۱۲۰ − ۳۲/۲٥ = ۸۷/۷٥
میزان لجن خشک مورد نیاز بر حسب مگاگرم	۸۷/۷٥ ÷۱۹/۲ = ٤/٥۷
میزان لجن مورد مصرف با ۷٥ درصد رطوبت و ۲٥ درصد ماده‌ی خشک برحسب مگاگرم	٤/۷٥ ÷۰/۲٥ = ۱۸/۳

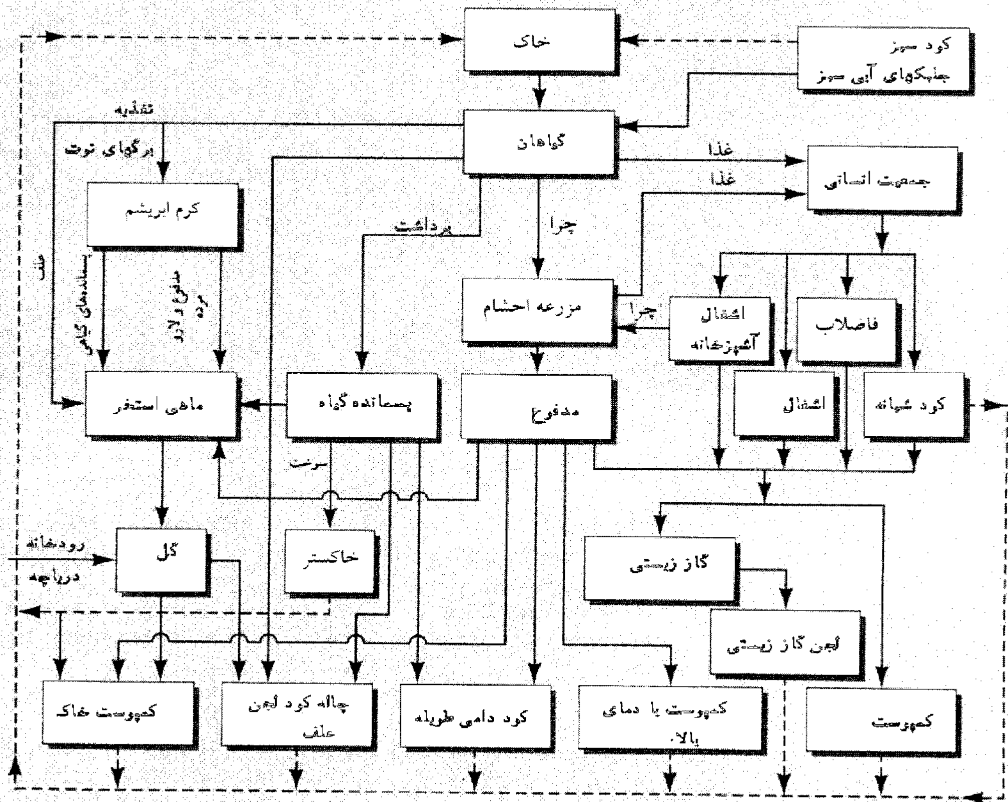
توجه داشته باشید که مصرف ۱۰/۸۲ مگاگرم لجن خشک (۶/۲۵ + ۵۷/ ۴) سبب عرضه مقدار زیادی فسفر خواهد شد که با فرض ۲درصد برای فسفر (طبق جدول۱۱-۱۶)این مقدار ۲۱۶/۵ کیلوگرم خواهد شد که به مراتب از فسفر مورد نیاز گیاه در دو سال بیشتر گردیده و سبب تجمع فسفر خواهد شد.

مصارف خاص: استفاده‌های خاصی از منابع عناصر غذایی آلی به عمل می‌آید که در آن‌ها اجزای ماده‌ی آلی نقش ویژه ایفا می‌کنند. این موارد عبارتند از استعمال مواد مزبور در خاک‌هایی که افق سطحی آن‌ها براثر فرسایش، یا تسطیح اراضی برای آبیاری، و یا عملیات معدن‌کاوی از بین رفته است. ممکن‌است بهبود ظرفیت نگهداری آب و ساختمان خاک، که براثر مصرف مواد آلی حاصل می‌شود، همان اهمیت را که اشکال مختلف پس‌مانده‌های آلی در تأمین عناصر غذایی در طولانی‌مدت، و با تأنی دارند، داشته باشد. مصرف اولیه ۵۰ تا ۱۰۰ مگاگرم در هکتار ممکن‌است در مناطق مسأله‌دار اعمال گردد. این مقادیر ممکن‌است از نظر تأمین ماده‌ی آلی، و همین‌طور عناصر غذایی، قابل‌توجیه بوده اما به شرط آن‌که چنان از نظر نیتروژن بالا نباشد که توان آبشویی نیترات را ایجاد کند. موارد خاص کمبود عناصر کم‌مصرف می‌تواند با استفاده از کود دامی اصلاح گردد. کاربرد این روش معمولاً برای موادی است که از وجود کمبود در عنصر خاصی مطمئن نیستیم. استعمال کود دامی می‌تواند بدون کوچک‌ترین توجه به افزودن مقادیر سمی عناصر کم‌مصرف انجام شود.

۱۰-۱۶ بازچرخ تلفیقی ضایعات

در اکثر کشورهای صنعتی بازچرخ گسترده‌ی ضایعات آلی به‌غیراز کود دامی پدیده‌ای نسبتاً جدید است، هرچند در مناطق پرجمعیت آسیا، و به‌خصوص در چین و ژاپن، این بازچرخ مدت‌هاست که انجام می‌شود. شکل ۱۸-۱۶ راه‌های بسیاری را که ضایعات آلی در چین مصرف می‌شود تشریح می‌کند. کشاورزی فقط یکی از دریافت‌کنندگان این ضایعات می‌باشد. بخش بیشتر ضایعات برای تولید گاز زیستی، غذا برای ماهی، منبع تأمین گرما از کپه‌های کمپوست برای گرم‌کردن منازل و گلخانه‌ها و آب خانگی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مهم‌تر

آن‌که عناصر غذایی گیاهی و ماده‌ی آلی در بازچرخ قرار گرفته و برای استفاده آتی نبات به خاک بر می‌گردند. به نظر می‌رسد این حفاظت منابع که به طور گسترده‌تر در آینده به‌وسیله‌ی سایر کشورها از جمله ایالات متحده‌ی آمریکا، انجام شود



شکل ۱۸-۱۶ بازچرخ ضایعات آلی و عناصر غذایی در کشور چین. به میزانی که خاک در فرایند بازچرخ قرار می‌گیرد توجه کنید.

۱۱-۱۶ کودهای غیرآلی شیمیایی

مصرف کودهای شیمیایی در طول نیمه‌ی دوم قرن بیستم به طور سرسام‌آوری درمقیاس جهانی افزایش یافت (شکل ۱۹-۱۶)، که بخش عمده‌ی افزایش تولید بسیار زیاد در همین مدت مربوط به آن است. حاصلخیزی خاک بهبودیافته با مصرف عناصر غذایی یک عامل اساسی است که جهان را قادر می‌سازد میلیاردها نفر را که هرسال به جمعیت آن اضافه می‌شود تغذیه کند (بخش ۳-۲۰ را مطالعه کنید).

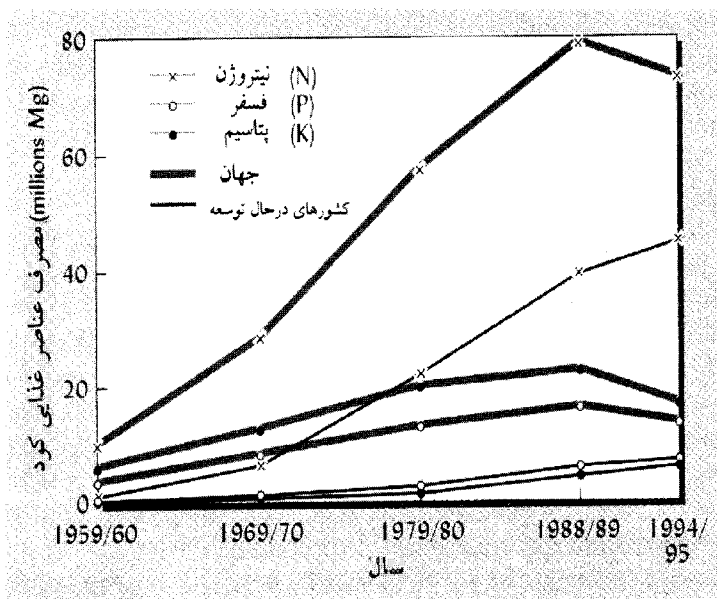
نیاز به ترمیم حاصلخیزی خاک‌های جنگلی با توجه به افزایش تقاضا برای محصولات جنگلی و درنتیجه بالارفتن برداشت عناصر غذایی و رقابت برای استفاده از اراضی و باقی‌ماندن جنگل در اراضی کمتر حاصلخیز و حاشیه‌ای درحال افزایش است. بیشتر مصرف کود درحال حاضر در جنگل در خزانه کشت درختان و درختان بذری انجام می‌گیرد که در آن‌ها مزایای کوددادن، نسبتاً کوتاه‌مدت و پرارزش بوده و مراحل استعمال کود همانند درختان جنگلی چندان گسترده، مشکل و پرهزینه نمی‌باشد. در مناطق گرم‌تر و مرطوب‌تر ژاپن[1]، حدود ۵۰٪ کشت‌های جنگلی جدید کود داده می‌شوند. کوددادن جنگل در جنوب شرقی آمریکا و ممالک اسکاندیناوی و استرالیا درحال افزایش است.

مصرف منطقه‌ای کودهای شیمیایی

آمار کودهای شیمیایی در مقیاس جهانی نمایی از نقش کودهای شیمیایی در حفظ تعادل جهانی بین نهاده‌ها و ستانده‌های کودی ارائه می‌دهد. اما مصرف اختصاصی‌تر کود در سطح منطقه مشخص می‌سازد که مصرف کود سبب ارتقای کیفیت خاک و یا تخریب محیط می‌گردد. برای نمونه در اروپا و آسیای شرقی که رطوبت زیاد بوده و کشاورزی پرنهاده معمول است، میزان مصرف عناصر غذایی کودهای

[1]- در ژاپن آب وهوا که برای رشد گونه‌های الوار پرارزش مانند ساگی *Cryptomeria japonica* و بلوط *Quercus acustissima* مساعد است تنه‌های درختان برای پرورش قارچ **Shiitake** مورد استفاده است.

شیمیایی تقریباً سه برابر متوسط جهانی است. در کشور هلند میزان نیتروژن اضافه شده به خاک از کودهای شیمیایی و کود دامی۴ برابر میزان برداشت این ماده در گیاهان درو شده است. برعکس در آفریقای جنوب صحرای بزرگ به معنی کلمه تخلیه شده و میزان عناصر غذایی که از تمام منابع به خاک اضافه می‌شود بسیار کمتر از آن است که در گیاهان برداشت می‌شود. میزان عناصر غذایی مصرف‌شده در کود در این منطقه فقط ۱۰ درصد متوسط جهانی است. بنابراین، واضح است که ما برای ارزیابی نقش کودها در تحقق اهداف انسانی و زیست‌محیطی باید تا آن‌جا که مقدور است مطالعات خاص منطقه‌ای انجام دهیم.



شکل ۱۹-۱۶ مصرف کود شیمیایی در کشورهای در حال توسعه و در مقیاس جهانی از ۶۰-۱۹۵۹ تا ۹۵-۹۴ براساس عناصر غذایی اصلی. به مصرف خیلی بالای نیتروژن درمقایسه با دو عنصر دیگر توجه کنید، مصرف جهانی کود در دهه‌ی ۹۰ عمدتاً به‌خاطر کاهش شدید مصرف در کشورهای اتحاد جماهیر شوروی، و بعضی محدودیت‌ها در کشورهای صنعتی به طور عمده کاهش یافت، اما افزایش مصرف کود در کشورهای درحال توسعه ادامه یافت، گرچه برداشت عناصر غذایی در محصولات به مراتب بیشتر از برگشت عناصر به خاک در اکثر این کشورها بوده است.

منشاء و فراوری کودهای غیرآلی

اکثر کودها نمک‌های غیرآلی بوده که شامل عناصر غذایی با قابلیت استفاده‌ی آسان به‌وسیله‌ی گیاه می‌باشد. بعضی از این کودها در کارخانه‌ها ساخته می‌شوند اما بعضی دیگر مانند فسفر و پتاسیم در نهشته‌های زمین‌شناختی طبیعی یافت می‌گردند. لایه‌های نمک‌های جامد[1] که در عمق بسیار زیادی از سطح زمین قرار گرفته‌اند منابع اولیه پتاسیم می‌باشند. این رسوبات زیر زمین در بسیاری از مناطق از جمله کانادا، فرانسه، آلمان و روسیه، و همین‌طور نیومکزیکو یافت می‌شوند. نمک‌ها از معدن استخراج و تصفیه شده و محصولاتی مانند کلرورپتاسیم و سولفات پتاسیم از آن‌ها تولید می‌شوند.

آپاتیت که در سنگ رسوبی فسفاته یافت می‌شود منبع اولیه کود فسفره می‌باشد. از آن‌جاکه آپاتیت فوق‌العاده غیرمحلول است، در واکنش با اسید سولفوریک و فسفریک و یا نیتریک برای تولید موادی مانند سوپرفسفات تریپل برای ارائه فسفر در اشکال دارای قابلیت استفاده آسان قرار می‌گیرد. سنگ‌های رسوبی فسفره در سراسر جهان وجود دارند که بیشترین آن‌ها در فلوریدا، کارولینای شمالی، تنسی و چندین ایالت غربی آمریکا قرار گرفته‌اند.

نیتروژن موجود در نیوار منبع اصلی اولیه این عنصر اساسی است، تحت دما و فشارهای بسیار بالا، نیتروژن نیوار تثبیت و با هیدروژن تولید گاز آمونیاک می‌کند. هرچند این تثبیت دارای اهمیت حیاتی است اما همان‌طورکه مورد انتقاد قرار گرفته انرژی فوق‌العاده زیادی را مصرف می‌کند. هنگامی‌که گاز آمونیاک تحت فشار متوسط قرار می‌گیرد، مایع شده و آمونیاک مایع[2] را تولید می‌کند. به‌خاطر قیمت پایین و سهولت استعمال، نیتروژن بیشتری از آمونیاک مایع درمقایسه با سایر کودهای نیتروژنی مستقیماً به خاک اضافه می‌شود (جدول ۱۲-۱۶). مهم‌تر آن‌که آمونیاک نقطه‌ی آغاز ساخت اکثر کودهای شیمیایی نیتروژنی مانند اوره، نیترات آمونیوم، سولفات آمونیوم، نیترات سدیم و مخلوط‌های مایع که محلول‌های نیتروژن نامیده شده‌اند می‌باشد. تجاری‌کردن فرایند تثبیت نیتروژن چرخه نیتروژن را دچار تحول کرده است، متأسفانه، قیمت پایین این عنصر غذایی و تنوع موادی که می‌تواند به‌وسیله‌ی آن‌ها عرضه گردد سبب مصرف آن بیش از نیاز گیاهان شده است.

---
[1] - Beds of solid salts
[2] -Anhydrous ammonia

بسیاری از کودهای تجاری شامل دو نوع عناصر غذایی اساسی یا بیشتر می‌باشند. در بعضی موارد، از مخلوطی از کودهای شیمیایی حاوی عناصر غذایی استفاده می‌شود، اما در بعضی دیگر، یک ترکیب کودی ممکن‌است دو عنصر غذایی را شامل باشد. منوآمونیوم‌فسفات، دی‌آمونیوم‌فسفات و نیترات‌پتاسیم، نمونه‌هایی از این کودها می‌باشند. درهرحال در انتخاب ترکیب کودهای شیمیایی باید دقت به عمل آورد، زیرا بعضی از ترکیبات با دیگر ترکیبات دارای سازگاری نبوده سبب ایجاد شرایط فیزیکی نامناسب و کاهش قابلیت استفاده عناصر در مخلوط کودی می‌شوند.

جدول ۱۲-۱۶ مصرف کود شیمیایی در ایالات متحده‌ی آمریکا. عمده کودهای مصرف‌شده در آمریکا در پایان ژوئن ۱۹۹۶ و مقدار عناصر غذایی که تولید می‌کنند. توجه کنید اکثر نیتروژن و پتاسیم در کودهای شیمیایی تک عنصری ارائه شده درحالی‌که اکثر کودهای فسفره نیتروژن را نیز تأمین می‌کنند.

کود شیمیایی	عناصر غذایی ارائه شده ۱۰۰۰ مگاگرم		
	نیتروژن	فسفر	پتاسیم
کودهای حاوی نیتروژن			
آمونیاک مایع NH_3	۳۵۹۳	–	–
محلول‌های نیتروژن (UAN)[1]	۲۵۶۵	–	–
اوره $CO(NH_2)_2$	۱۶۲۵	–	–
نیترات آمونیوم NH_4NO_3	۶۴۶	–	–
سولفات آمونیوم $(NH_4)_2SO_4$	۲۰۰	–	–
کودهای حاوی فسفر			
دی‌آمونیوم فسفات(۰-۴۶-۱۸)	۶۰۳	۶۲۸	–
منوآمونیوم فسفات (۰-۵۳-۱۱)	۱۲۴	۲۴۲	–
آمونیوم پلی‌فسفات(۰-۳۴-۱۰)	۱۰۰	۱۳۹	–
سوپرفسفات تریپل –	–	۸۳	–
کودهای حاوی پتاسیم			
کلرور پتاسیم	–	–	۲۴۷۸
سولفات پتاسیم	–	–	۵۴
کودهای مخلوط			
۱۹-۱۹-۱۹	۳۲	۱۴	۲۷
۱۰-۱۰-۱۰	۲۹	۱۳	۲۴
۱۳-۱۳-۱۳	۲۹	۱۲	۲۴
۰-۲۰-۱۶	۲۷	۱۵	–
۲۰-۲۰-۱۰	۱۳	۱۲	۲۲

خصوصیات و استفاده از کودهای شیمیایی

ترکیب کودهای شیمیایی غیرآلی بسیار دقیق‌تر از مواد آلی مورد بحث در صفحات قبل می‌باشد. جدول ۱۳-۱۶ میزان عناصر و سایر خصوصیات بعضی از کودهای رایج را درج کرده است. در اکثر موارد کودهای شیمیایی برای تأمین عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و یا

[1] - Urea Amonium Nitrate

پتاسیم، که بعضی مواقع به آن‌ها کودهای شیمیایی عناصر اولیه اطلاق می‌گردد، مصرف می‌شوند. کودهای شیمیایی کـه گـوگرد، منیـزیم و عناصر کم‌مصرف را تأمین کند، نیز ساخته می‌شوند. از اطلاعات جدول ۱۳-۱۶ می‌توان مشاهده کرد. که یک عنصر خـاص غـذایی ماننـد نیتروژن می‌تواند به‌وسیله‌ی بسیاری از حاملین، و یا ترکیبات کودی، تأمین گردد. تصمیم به استفاده از کود شیمیایی خاص نه‌تنها در ارتباط با عناصر غذایی موجود در آن، بلکه در ارتباط با دیگر خصوصیات انحصاری کود نیز می باشد جدول ۱۳-۱۶ اطلاعاتی در مورد بعضی از این خصوصیات مانند خطر شورشدن، تمایل به اسیدی‌شدن، تمایل به تصعید، سهولت انحلال و میزان عناصر غیراز عناصر اصـلی را ارائـه می‌دهد. در بین کودهای نیتروژنی آمونیاک مایع محلول‌های نیتروژن و اوره بیشتر از همه مورد اسـتفاده مـی‌باشـند. دی‌آمونیـوم فسـفات و کلرور پتاسیم حجم بزرگی از فسفر و پتاسیم مورد استفاده در آمریکا را تشکیل می‌دهند.

اشکال فیزیکی کودهای تجاری

در سال‌های قبل اکثر کودهای تجاری در کیسه‌هایی کاغذی و یا پلاستیکی فروخته‌شده و به‌وسیله‌ی کامیون‌ها به مـزارع حمـل و بـا دست در داخل کودپاش تخلیه و در زمین توزیع می‌گردید. امروزه کمتر از ۱۰٪ تمام کودهای شیمیایی با ایـن شـیوه اسـتفاده مـی‌شـوند (جدول ۱۴-۱۶). افزایش مصرف کودشیمیایی و هزینه‌های کارگری همراه با روش‌های بهتر انتقال و مصرف و افزایش کارگزاران مـدیریت مصرف کود سبب ایجاد دو روش جایگزین در بازاریابی کود شده است که عبارتند از (۱) کودهای جامد بسته‌بندی‌نشده که در شکل فلـه اداره می‌شود و (۲) به‌صورت مایع و یا سیال در مخازن نگهداری، حمل و توزیع می‌گردند. در هر دو روش هزینه‌هـا بـه‌خصـوص هزینـه کارگری کاهش یافته است.

توزیع فله، معمولاً مواقعی که مزرعه دارای کامیون‌ها و یا توزیع‌کننده بزرگ کود باشد انجام مـی‌شـود و بـرای اسـتعمال کودهـای شیمیایی چند عنصری مناسب می‌باشد (جدول ۱۴-۱۶). معمولاً توزیع فله‌ای به درخواست زارع به‌وسیله‌ی عامل توزیع و فروش کـود یـا کارگزاران شخصی انجام، و مواد کودی از یک کارخانه کوچک دارای موقعیت راهبردی خاص فراهم می‌گردد. کود شـیمیایی مـورد نظـر خریدار با اجزای موردنظر تولید گردیده مستقیماً به مزرعه فرستاده می‌شود. فرایند نیازمند نیروی کار صحرایی انـدک بـوده و کـود مـورد درخواست زارع را در زمان معین و به‌طور کارا تهیه می‌کند.

کودهای مایع بیشتر از نصف کودهای شیمیایی تک‌عنصری را که در آمریکا فروخته می‌شود شامل بوده و حدود ۴۰درصد کل کودها را تشکیل می‌دهد (جدول۴-۱۶). در این‌جا نیز هزینه‌های کارگری پایین می‌باشد، زیرا کود شیمیایی از یک مخزن به مخزن دیگر انتقال یافته و به‌وسیله‌ی تلمبه‌ی مکانیکی در مزارع استعمال می‌شوند. به‌علاوه هزینه کودی در بعضی از کودهای شیمیایی مایع(بـرای نمونـه آمونیـاک مایع) پایین بوده و عناصر غذایی معمولاً قبل از کشت مصرف می‌شوند. کارگزاری توزیع و مصرف کود شـیمیایی معمـول بـوده و بیشـتر مسوولیت را از شانه‌های زارعین در این رابطه برداشته‌اند.

این تغییرات در بازاریابی کود استعمال کود را آسان‌تر کرده، و به‌همین ترتیب، همراه با ملاحظات اقتصادی، عامل مهمـی در افـزایش استفاده از کود می‌باشد. آن‌ها ممکن‌است در مصرف کود، همسنگ با اصول علمی و یا بیشتر از آن تأثیرگذار باشند. ملاحظات اقتصادی، و همین‌طور اصول علمی را در مورد مصرف کود، هنگامی که در جستجوی راه‌های بهتری برای کسـب اطمینـان از بـالابردن کیفیـت خـاک به‌وسیله‌ی کود و به‌حداقل‌رساندن تخریب محیط زیست هستیم، باید در نظر داشته باشیم.

درجه‌ی کود شیمیایی[1]

کودهای شیمیایی ابتدا در اواخر قرن ۱۹ و اوایل قرن ۲۰ به‌صورت صنعتی ساخته شدند. روش‌های تجزیه و قـوانینی همزمـان بـرای تنظیم این صنعت به تصویب رسیدند که سبب به‌وجودآمدن برچسب‌ها و معاهدات تجاری گردیدند که هنوز هم مورد استفاده می‌باشند.

از این معاهدات مهم‌ترین آن‌ها به درجه‌ی کود شیمیایی مشهور است. برچسب هر کود شـیمیایی درجـه‌ی کـود را بـر حسـب رمـز سه‌حرفی بیان می‌دارد مثلاً ۱۰ — ۵- ۱۰ و یا ۲۴- ۲۴-۶ این شماره‌ها بیانگر درصد کودها به ترتیب برحسب میزان نیتروژن (N) میزان اسید فسفریک قابل‌استفاده (P_2O_5) و میزان پتاسیم قابل‌استفاده (K_2O) می‌باشد. گیاهـان فسـفر و پتاسـیم را در ایـن اشـکال شـیمیایی جـذب نمی‌کنند، و هیچ کود شیمیایی در واقع دارای P_2O_5 و K_2O نمی‌باشد.

[1] -Ferilizer grade

جدول۱۳-۱۶ کودهای غیرآلی مورد استفاده معمول: میزان عناصر و سایر خصوصیات آن‌ها

کود شیمیایی	درصد وزنی N	P	K	S	Ca	Mg	عناصر کم‌مصرف	خطرشور شدن	تمایل به تشکیل اسید $kgCaCO_3/100kg$ *	ملاحظات
منابع اصلی نیتروژن										
آمونیاک خشک[1]	۸۲							کم	-۱۴۸	وسیله‌ی تحت فشار مورد نیاز بوده و گاز سمی است
اوره[۲]	۴۵							متوسط	-۸۴	محلول بوده و آنزیم اوره‌آز، اوره را به‌سرعت به اشکال آمونیوم تبدیل می‌کند
نیترات آمونیوم[۳]	۳۳							بالا	-۵۹	رطوبت را از هوا جذب کرده و قابل انفجار می‌باشد
اوره با پوشش گوگردی[۴]	۳۰ -۴۰			۱۳-۱۶				کم	-۱۱۰	میزان ازادشدن کند و متغیر
فرم آلدید اوره UF[5]	۳۰ -۴۰							خیلی کم	-۶۸	به اهستگی قابل حل می‌باشد
محلول UAN[۶]	۳۰							متوسط	-۵۲	نیتروژن مایع مورد استفاده بسیار معمول
ایزوبوییلدون دیورئه IBDA[۷]	۳۰							خیلی کم	--	به آهستگی قابل حل
سولفات آمونیوم[۸]	۲۱			۲۴				زیاد	-۱۱۰	با سرعت pH خاک را پایین می‌آورد،مدیریت آسان
نیترات سدیم[۹]	۱۶						Cl ۰.۶٪	بسیار زیاد	+۲۹	سخت شده و سبب پراکنده‌شدن ساختمان خاک می‌شود
نیترات پتاسیم[۱۰]	۱۳		۳۶	۰/۰۲	۰/۴	۰/۳	Cl ۱/۲٪	بسیار زیاد	+۲۶	عکس‌العمل نبات به کود خیلی سریع است
منابع اصلی فسفر										
منو آمونیوم فسفات[۱۱]	۱۱	۲۱-۲۳		۱-۲				کم	-۶۵	بهترین کود فسفره برای آغاز رشد
دی آمونیوم فسفات[۱۲]	۱۸-۲۱	۲۰-۲۳		۰-۱				متوسط	-۷۰	بهترین کود فسفره برای آغاز رشد
سوپر فسفات تریپل[۱۳]		۱۹-۲۲		۱-۳	۱۵			کم	۰	--
سنگ فسفات[۱۴]		۸-۱۸			۳۰			خیلی کم	متغیر	قابلیت انحلال کم تا خیلی کم به‌صورت گردریز درخاک‌های اسیدی دارای Fcd
سوپر فسفات تنها[۱۵]		۷-۹		۱۱	۲۰			کم	۰	غیرقابل‌اشتغال می‌تواندبابذرجای‌گذاری شود
استخوان آسیاب شده[۱۶]	۱-۳	۱۰		--	۲۰			خیلی کم	--	قابلیت استفاده کندN باP همانند سنگ فسفات
فسفات کلوییدی[۱۷]		۸			۲۰			خیلی کم	--	قابلیت استفاده همانند سنگ فسفات
منابع اصلی پتاسیم										
کلرور پتاسیم[۱۸]			۵۰				کلر۴۷٪	بالا	۰	کلر ممکن‌است سبب کاهش بعضی از بیماریهاشود
سولفات پتاسیم[۱۹]			۴۲	۱۷	۰/۷	۱/۲		متوسط	۰	وقتی کلر مطلوب نیست به‌کار می‌رود
خاکسترچوب[۲۰]		۰/۵-۱	۱-۴		۱۰-۲۰	۲-۵	Fe-Mn-Zu-Cu-B[۳۱]	متوسط	+۴۰	۲/۳ارزش آهک‌دادن- سوزش آور
شن سبز[۲۱]		۰/۶	۶					خیلی کم	۰	قابلیت استفاده‌ی اندک
گردگرانیت[۲۲]			۴					خیلی کم	--	قابلیت استفاده‌ی اندک
منابع اصلی سایر عناصر غذایی										
پس‌مانده‌های صنایع[۲۳]		۱-۷			۳-۳۰	۳	Fe٪۱۰ Mn٪۲	کم	+۷۰	محصول فرعی صنعتی قابلیت استفاده اندک بهترین برای خاک‌های اسیدی
گچ[۲۴]				۱۹	۲۳			کم	۰	سبب پایداری ساختمان خاک می‌شود اثری برروی pH ندارد
سنگ آهک کلسیتی[۲۵]					۳۶			خیلی کم	+۹۵	قابلیت استفاده اندک، pH را بالا می‌برد
سنگ آهک دولومیتی[۲۶]					۲۴	۱۲		خیلی کم	+۹۵	قابلیت استفاده اندک، pH را بالا می‌برد
نمک اپسم(سولفات منیزیم)[۲۷]				۱۳	۲	۱۰		متوسط	۰	اثری برروی pH ندارد محلول در آب
گل گوگرد[۲۸]				۹۵				--	-۳۰۰	چشم راآزار می‌دهد،اکسید کننده قوی،آهسته عمل می‌کند،نیازمند اکسایش میکروبی
سولوبر[۲۹]							B٪۲۰/۵	متوسط	--	بسیار محلول سازگار برای برگ پاشی
کیلات EDTA[۳۰]							Cu-Fe Mn- Zn		--	دارای یک‌یادوعنصر کم‌مصرف(Cu(%13 (Zn(%12 یا (Mn(%12 یا (Fe(%10

1)Anhydrous ammonia(NH_3) 2)Urea($CO(NH_2))_2$ 3)Ammonium nitrate(NH_4NO_3) 4)Solfur-Coated urea 5)Ureaformaldehyde 6)Urea,amoniamnitrale(UAN) 7)Isobutylidene diurea(IBDA) 8)Ammoniam sulfate$(NH_4)_2SO_4$ 9)Sodiumnitrate($NaNO_3$) 10)Potassium nitrate(KNO_3) 11)Monoamonium phosphate($NH_4H_2PO_4$) 12)Diammonium phosphate$(NH_4)_2HPO_4$ 13)Triple Superphosphate 14)Phosphate rock[$Ca_3(PO_4)$.Cax] 15)Single Superphosohate 16)Bonemeal 17)Colloidal Phosphate 18)Potassiam Chlorode(kcl) 19)Potassium sulfate(K_2SO_4) 20)Wood ashes 21)Greensand 22)Granite dust 23)Basic slag 24)Gypsum($CaSO_4,2H_2O$) 25)Calcitic limestone $CaCO_3$ 26)Dolomitic limastone Ca,Mg$(CO_3)_2$ 27)Epsom Salt $MgSO_4,7H_2O$) 28)Sulfur flower(s) 29)Soluber 30)EDTA chelate 31)(Fe 0.2% Mn 0.8% Zn 0.05% Cu 0.005% B 0.13%)

*- عدد منفی معرف تشکیل اسید و عدد مثبت نشانه‌ی تشکیل قلیا است.

جدول ۱۴-۱۶ اشکال تجاری کود شیمیایی در آمریکا: اکثر کودهای شیمیایی مصرف‌شده در آمریکا درسال‌های ۱۹۹۶-۱۹۹۵یا به‌صورت فله‌ای بوده که با کامیون حمل گردیده، و یا به‌شکل مایع مصرف شده و کمتر از ۱۰ در صد به‌صورت پاکتی بوده است. توزیع اکثر کودهای فله‌ای و کودهای مایع به‌وسیله‌ی کارگزاران اعمال شده است. ادوات مصرف کود و مواد مصرف شده عمدتا برپایه‌ی ملاحظات اقتصادی و هزینه‌های کارگری مشخص می‌شود.

نوع کود	درصد مورد تجارت در شکل بیان‌شده		
	پاکتی	فله‌ای	مایع
کود تک‌عنصری	۳/۱	۴۴/۹	۵۲/۰
کود چندعنصری	۱۹/۲	۵۸/۶	۲۲/۱
مجموعه‌ی کودها	۹/۳	۵۰/۴	۴۰/۳

این نوع توصیف‌ها یادگار روزهایی است که شیمی‌دانان زمین‌شناس میزان عناصر سنگ را برحسب اکسیدهای تشکیل‌شده براثر حرارت گزارش می‌کردند. متأسفانه، این نوع توصیف‌ها به قوانین ایالتی حاکم بر فروش کودهای شیمیایی راه یافتند، مقاومت زیادی درمقابل تغییر آن‌ها به‌عمل می‌آید. صنعت کود شیمیایی به تدریج از این روش قدیمی برای تشریح میزان کود شیمیایی دور می‌گردد. در تمام کارهای علمی در این کتاب میزان عناصر ساده مورد استفاده می‌باشد (P وK به ترتیب برای P_2O_5 و K_2O). تابلو ۲-۱۶ چگونگی تبدیل اشکال عنصری و اکسیدی را با یکدیگر تشریح می‌کند

درجه‌ی کود از نظر اقتصادی مهم است، زیرا به مفهوم تجزیه و میزان غلظت عناصر در حامل عناصر غذایی (کود) می‌باشد. وقتی به گونه‌ای سنجیده استعمال گردد اکثر کودهای شیمیایی نتایج خوب مشابهی را در یک مقدار عناصر غذایی مشخص ارائه می‌دهند. کودهای شیمیایی غلیظ‌تر معمولاً از نظر استفاده دارای بالاترین صرفه اقتصادی می‌باشند، زیرا وزن کمتری از کود برای تأمین مقدار مورد لزوم یک عنصر غذایی باید حمل‌ونقل گردد. بنابراین، مقایسه‌ی اقتصادی دربین کودهای شیمیایی مناسب، باید براساس قیمت در هر کیلوگرم عنصر غذایی نه بر پایه‌ی قیمت هر کیلوگرم کود، تعیین گردد.

سرنوشت عناصر کود شیمیایی

یک افسانه عامیانه درباره‌ی کودها مطرح می‌کند که کودهای شیمیایی مصرف شده در خاک مستقیماً سبب تغذیه نبات می‌شوند؛ بنابراین، پیامد چرخه زیستی عناصر غذایی، همانند آن‌چه برای نیتروژن و فسفر گفته شد (شکل‌های ۳-۱۳ و ۶-۱۴) وقتی کودهای شیمیایی به‌کار می‌روند بسیار اندک خواهد بود. واقعیت این است که عناصر غذایی اضافه شده براثر مصرف معمولی کودهای شیمیایی، چه آلی و چه معدنی، در چرخه پیچیده خاک و عناصر غذایی داخل گشته و بخش نسبتاً اندکی از عناصر غذایی کود شیمیایی (۶۰-۱۰ درصد) در سال مصرف در داخل نبات وارد می‌شود. حتی وقتی مصرف کود شیمیایی سبب افزایش شدید رشد نبات و جذب زیاد عنصر خاصی گردد کود شیمیایی تا حدی سبب تقویت و افزایش چرخه عنصر غذایی گشته و تعداد ین‌های غذایی دریافت شده به‌وسیله‌ی نبات مستقیماً از کود شیمیایی نبوده، بلکه عمدتاً از منابع مختلف موجود در خاک تأمین می‌گردد. این دانش با تجزیه‌ی دقیق طی دهها مطالعه‌ی دقیق با نشان‌دارکردن عنصر موجود در کود شیمیایی (عناصر پرتوزا) به‌دست آمده است. نتایج حاصل از این مطالعات، که در جدول ۱۵-۱۶ خلاصه شده است، نشان می‌دهد نیتروژن بیشتری از آن‌چه در کود است جذب نبات شده است. معمولاً وقتی میزان مصرف کود شیمیایی افزایش می‌یابد، کارایی استفاده از عناصر کود شیمیایی کاهش یافته و مقدار زیادی از عناصر اضافه شده در خاک باقی می‌ماند.

تابلو۲-۱۶ چه مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم در یک کیسه‌ی کود ۲۴-۲۴-۶ موجود است

برچسب‌های مرسوم در کودهای شیمیایی درصد N، P_2O_5 و K_2O را مشخص می‌کنند، بنابراین، یک کیسه کود شیمیایی که مطابق شکل ۲۰-۱۶ به‌صورت ۲۴-۲۴-۶ برچسب خورده است (۶ درصد N، ۲۴ درصد P_2O_5 ۲۴ درصد K_2O). در واقع دارای ۶ درصد نیتروژن ۱۰/۵ درصد فسفر و ۱۹/۹ درصد پتاس می‌باشد.

6-24-24	
تجزیه‌ی تضمینی	
TOTAL NITROGEN(N)	6.0%
AVAILEBLE PHOSPHORIC ACID(P_2O_5)	24.0%
SOLUBLE POTASH(K_2O)	24.0%
توان اسیدی	
معادل ۳۰۰ پوند کربنات کلسیم در یک تن کود	

شکل ۲۰-۱۶ یک برچسب نمونه‌ی کود شیمیایی. توجه کنید که محاسبات باید برای تعیین درصد عناصر غذایی، P و K در کود شیمیایی انجام شود زیرا میزان عناصر بر حسب P_2O_5 و K_2O بیان گردیده است. همچنین توجه کنید که پس از تعامل با خاک و نبات، این مواد سبب افزایش اسیدیته خاک خواهد شد که باید، ۳۰۰ پوند $CaCO_3$ برای خنثی‌کردن هر ۲۰۰۰ پوند (۱ تن) از این کود شیمیایی مصرف گردد.

برای تعیین مقدار کود مورد نیاز و تأمین مقدار توصیه شده یک عنصر غذایی خاص لازم است که درصد P_2O_5وK_2O به درصد P و K تبدیل شوند این‌کار با محاسبه نسبت P در P_2O_5 و نسبت K در K_2O انجام می‌شود محاسبات زیر ممکن‌است مورد استفاده باشند. با توجه به وزن مولکولی P و K و N که به ترتیب عبارتند از ۳۰/۹۷، ۳۹/۱۰ و ۱۶ گرم در مول، وزن مولکولیP_2O_5، ۱۴۱/۹۴ و نسبت P در آن عبارتست:

$$\frac{2\times30.97}{141.94}=0.436$$

بنابراین، برای تبدیل P_2O_5 به P باید مقدار اولی در ۰/۴۴ ضرب گردد.

وزن مولکولی K_2O عبارتست از ۹۴/۲۰ و نسبت K در K_2O عبارتست از:

$$\frac{2\times39.1}{94.2}=0.83$$

بنابراین، برای تبدیل K_2O به K باید مقدار اولی در ۰/۸۳ ضرب گردد.

بنابراین، اگر کیسه‌ی کود با برچسب شکل۲۰-۱۶ دارای ۲۵ کیلوگرم وزن باشد سبب تأمین مقدار نیتروژن فسفر وپتاس به‌شرح زیر خواهد بود.

نتایج تجزیه کود	تبدیل به درصد عناصر	میزان عناصر موجود در کود
۶ درصدN	۶×۱=٪۶ N	۲۵ ×٪۰۶=۱/۵ kg N
۲۴ درصد P_2O_5	۲۴ × ٪۴۴ =٪۱۰/۵ P	۲۵ × ٪۱۰۵ =۲/۶ kg P
۲۴ درصد K_2O	۲۴ × ٪۸۳ = ٪۱۹/۹ K	۲۵ ×٪۱۹۹ =۵ kg K

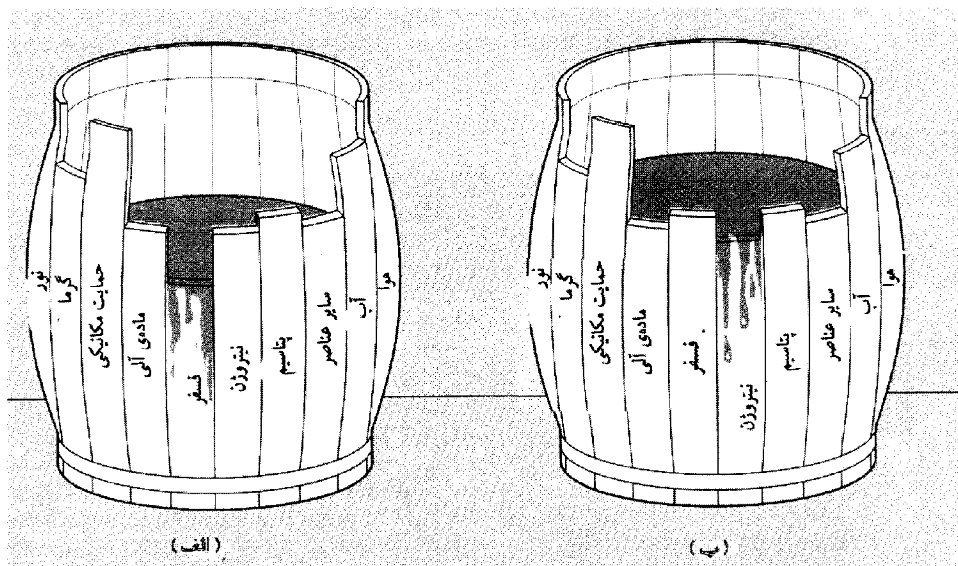
۱۲-۱۶ مفهوم عامل محدودکننده رشد[1]

این قانون، که اول بار به‌وسیله‌ی ون‌لیبک شیمی‌دان مشهور آلمانی، ارائه گردیده است بیان می‌دارد که : «عملکرد محصول از سطحی که به‌وسیله‌ی کمترین مقدار عامل رشد درمقایسه با بهینه مقدار آن عامل تعیین می‌گردد تجاوز نخواهد کرد.» عامل رشد چه دما، چه نیتروژن و یا مقدار آب باشد، میزان رشد ممکن را محدود کرده، و بنابراین، عامل محدودکننده رشد نامیده می‌شود (شکل ۲۱-۱۶).

[1] - Limiting Factor

اگر عاملی محدودکننده نباشد، افزایش آن سبب افزایش اندکی در رشد بوده و یا اصولاً تـأثیری در افـزایش رشـد نخواهـد داشـت. درحقیقت افزایش یک عامل محدودکننده ممکن‌است در واقع سبب کاهش رشد نبات به‌علت خارج‌کردن بیشتر نظام از تعادل گردد. بـرای مثال، اگر نبات به‌علت کمبود فسفر دارای محدودیت رشد باشد ممکن‌است افزودن نیتروژن بیشتر کمبود فسفر را تشدید کند.

اگر از زاویه دیگر نگاه کنیم، ممکن‌است اضافه‌کردن فسفر قابل استفاده (اولین عامل محدودیت رشد در مثال قبل) اجـازه دهـد کـه نبات با اضافه‌کردن بعدی نیتروژن پاسخ مثبت بدهد. بنابراین، افزایش عملکرد با استفاده از دو عنصر غذایی با هم اغلب به مراتب بیشـتر از مجموع افزایش عملکرد جداگانه براثر استفاده از هر عامل می‌باشد. این برهم‌کنش و یا همراهی بین عناصر را می‌تـوان از اطلاعـات شـکل (۲۲-۱۶) مشاهده نمود.

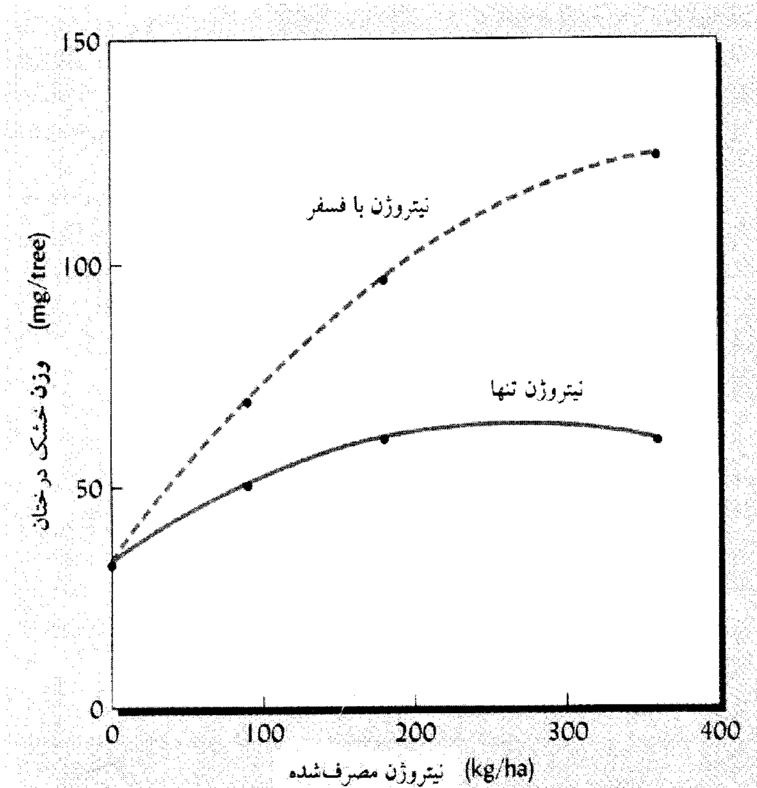


شکل ۲۱-۱۶ تشریح قانون کمینه و مفهوم عامل محدود کننده : رشد نبات براثر عناصر اساسی (و یا عوامل دیگر) که بیشترین محدودیت را دارد با مانع مواجه می‌شود. سطح آب در بشکه بیانگر میزان تولید است. الف) فسفر به‌عنوان عامل دارای بیشترین محدودیت معرفی گردیده است. حتی با وصف آن‌که سایر عناصر بیش از مقدار کافی وجود دارند رشد نبات از آن‌چه به‌وسیله‌ی مقدار فسفر قابل استفاده تعیین می‌شود بیشتر نخواهد بود. ب) وقتی فسفر اضافه گردد میزان تولید افزایش می‌یابد تا جایی‌که عامل دیگری محدودکننده‌ترین گردد که در این مورد نیتروژن می‌باشد.

جدول ۱۵-۱۶ منبع نیتروژن در کشت ذرت در کارولینای شمالی در خاک‌های لوم شنی انون (اولتیک هاپلودالف[1]) با سه میزان نیتروژن در کود نیترات آمونیوم (منبع نیتروژن در نبات ذرت که با استفاده از کود شیمیایی نشان‌دار با ایزوتـوپ ^{15}N مشـخص گردید). توجه کنید که مصرف متوسط کود نیتروژنی سبب افزایش جذب نیتروژن قبلی موجـود در نظـام و همچنـین نیتـروژن حاصل از کود شیمیایی گردید).

کود نیتروژنی مصرف شده kg/ha	عملکرد دانه ذرت kg/ha	کل نیتروژن در ذرت Mg/ha	نیتروژن حاصل از کود شیمیایی در ذرت kg/ha	نیتروژن حاصل از خاک در ذرت kg/ha	نیتروژن حاصل از کود شیمیایی در ذرت برحسب درصد کل نیتروژن ذرت	نیتروژن حاصل از کود شیمیایی برحسب درصد نیتروژن مصرف شده
۵۰	۳/۹	۸۸	۲۸	۶۰	۳۳	۵۶
۱۰۰	۴/۶	۱۴۶	۵۵	۹۱	۳۸	۵۵
۲۰۰	۵/۵	۱۵۷	۸۶	۷۱	۵۵	۴۳

[1] - Enon sandy loam (Ultic Hapludalfs)



شکل ۲۲-۱۶ افزایش زیتوده‌ی نهال‌های یک‌ساله‌ی کاج سفید در عکس‌العمل به کود نیتروژنی، با و بدون مصرف فسفر در یک خاک شنی در انتاریو جنوبی در کانادا. فسفر در این خاک مشخصاً محدودکننده‌ترین عنصر غذایی بود؛ بنابراین، پاسخ اندکی با اضافه‌کردن نیتروژن حاصل گردید تا این‌که فسفر اضافه شد. این مثال نمونه‌ای از اثرات متقابل نیتروژن و فسفر در میزان عملکرد می‌باشد.

۱۳-۱۶ روش‌های مصرف کود

مصرف مؤثر و بخردانه‌ی کود شامل تصمیم‌گیری‌های درست در مورد انتخاب عناصر غذایی، تعیین میزان هر یک از عناصر غذایی مورد نیاز، نوع کود یا حامل کود (جداول ۸-۱۶ و ۱۲-۱۶ بعضی از امکانات را درج کرده است)، نحوه‌ی استعمال کود و نهایتاً زمان مصرف کود می‌باشد. اطلاعات مربوط به دو تصمیم‌گیری اول را به بعد (بخش ۱۵-۱۶) موکول کرده و در این‌جا گزینه‌های موجود در ارتباط با دو تصمیم‌گیری نهایی را مورد بحث قرار خواهیم داد.

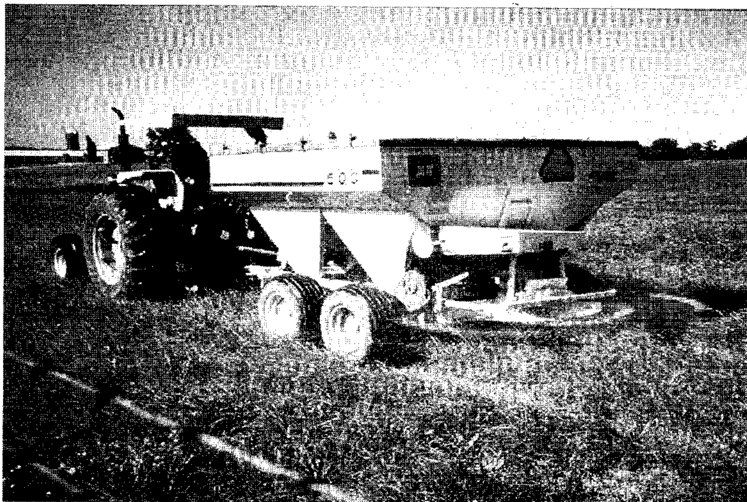
سه نوع رهیافت کمی برای کاربرد کودهای شیمیایی وجود دارد که عبارتند از پخش‌کردن، جایگزینی موضعی و برگ‌پاشی. هر روش دارای مزایا و معایبی بوده و ممکن‌است برای موقعیت‌های ویژه اختصاصاً مناسب باشد. اغلب ترکیبی از هرسه روش به‌کار گرفته می‌شود.

پخش یکنواخت کود[1]

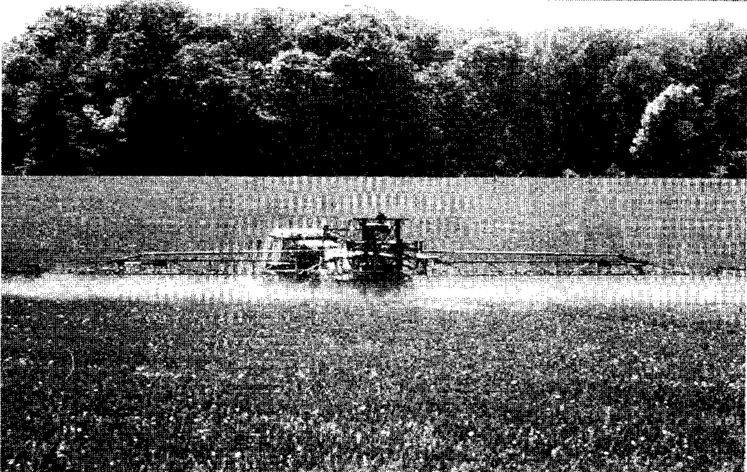
در بسیاری از موارد کود به‌طور یکنواخت در تمام مزرعه و یا سطحی که باید کود مصرف شود، پخش می‌گردد این روش *پخش‌کردن* نامیده می‌شود. در این روش اغلب کود با لایه‌ی شخم به‌وسیله‌ی ادوات خاک‌ورزی مخلوط شده، اما در بعضی مواقع کود در سطح خاک باقی‌مانده و به‌وسیله‌ی آب نفوذی حاصل از باران و آب آبیاری به‌داخل منطقه انتشار ریشه منتقل می‌شود. این روش هنگامی که مقادیر زیاد کود به‌منظور ارتقای سطح حاصلخیزی خاک در یک زمان طولانی مورد استعمال قرار گیرد مناسب‌ترین روش به‌شمار می‌رود. پخش کود باصرفه‌ترین روش برای توزیع مقادیر زیاد کود شیمیایی در مناطق وسیع می‌باشد (شکل ۲۳-۱۶).

---

[1] - Broadcasting



(الف)



(ب)

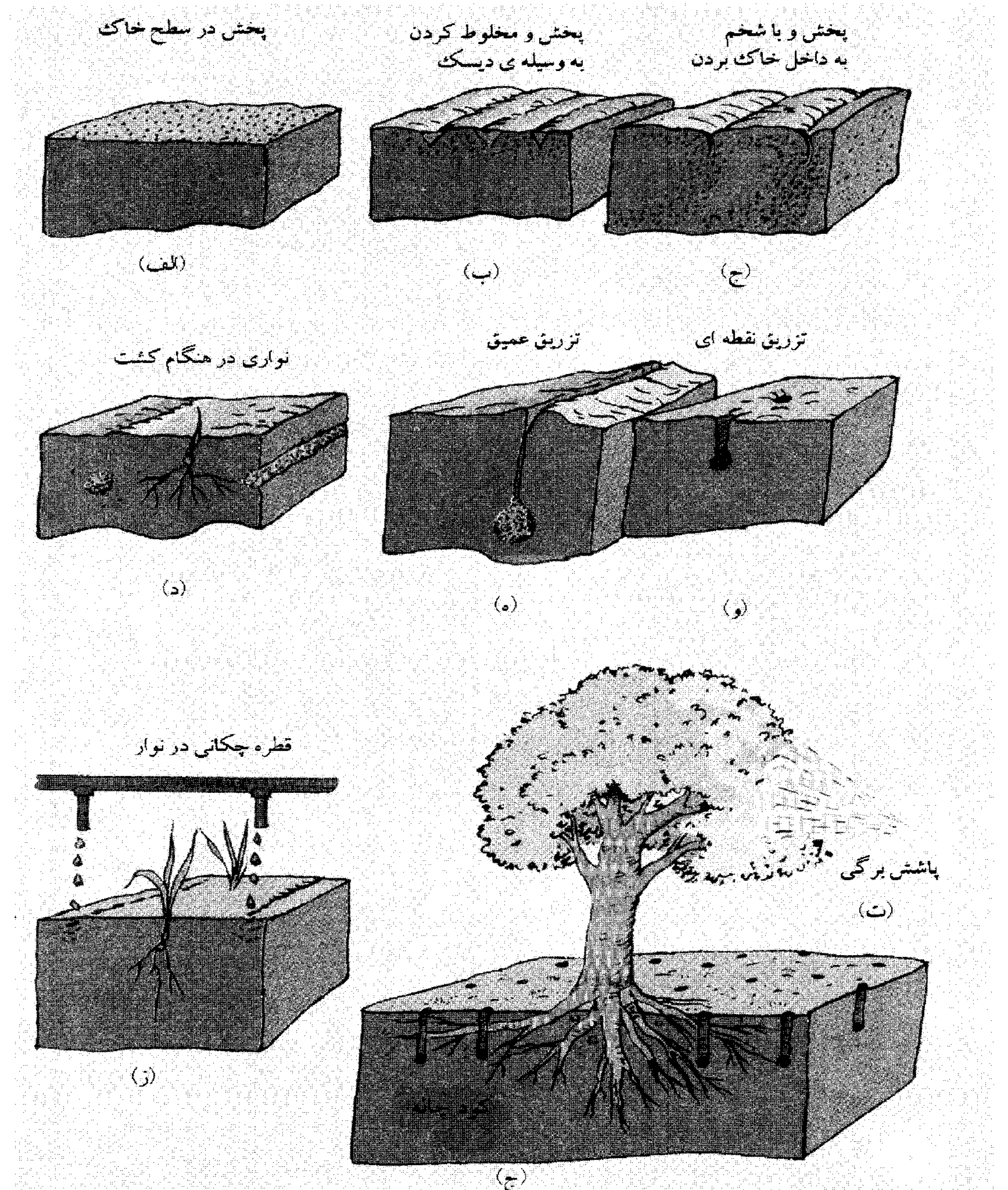
شکل ۲۳-۱۶ الـف) پخـش سـطحی فسـفر گرددانه و کود پتـاس در یـک علـفـزار در مریلند آمریکـا. ب)پخـش سـطحی محلـول نیتروژن مخلوط با قارچ‌کش در یک مزرعـه گندم در فرانسه.

برای نباتات متراکم پخش یکنواخت کود توزیع مناسبی از عناصر غذایی را فراهم می‌کند، بنابراین، معمول‌ترین روش مورد استفاده برای مراتع، علف‌زارها، محصولات دانه‌ریز، چمن و جنگل‌ها می‌باشد. پخش یکنواخت کودهای شیمیایی همچنین در بعضی از گیاهان ردیفی، به‌خصوص در پاییز که انجام کار بسیار آسان اما مطمئناً دارای کارایی بالا نیست، اعمال می‌گردد. کود پخش‌شده ممکن‌است داخل خاک گردیده و یا در سطح باقی بماند (شکل۲۴-۱۶ ج).

برای فسفر، روی منگنز و سایر عناصر غذایی که تمایل دارند در خاک به شدت نگهداری شوند پخش یکنواخت در مقایسه بـا توزیـع موضعی دارای کارایی کمتری می‌باشد. اغلب ۲ تا ۳ کیلوگرم کودشیمیایی باید پخش گردد تا به همان پاسخ مصرف موضعی یک کیلوگرم از همان کود دسترسی یابیم.

مصرف سنگین یک باره کود فسفره و پتاسیم به‌صورت پخش یکنواخت و داخل نمودن آن در خاک اقدامی مناسب برای استقرار چمن و علف‌زار دائمی می‌باشد. ممکن‌است لازم باشد که کود سرک در سال بعدی به‌صورت یکنواخت مصرف گردد. باید مواظب بود کودهایی که دارای خطرات شدید ایجاد شوری می‌باشند (جدول ۱۳-۱۶) مدت طولانی در تماس با سطح برگ و ایجاد سوختگی براثر نمـک قـرار نگیرند. به‌خاطر تحرک زیاد نیتروژن در خاک، نیتروژن با کاهش قابلیت استفاده در پخش یکنواخت مواجه نمی‌باشد، اما اگر کود در سـطح خاک قرار داده شود، اکثر آن براثر فراریت از بین خواهد رفت. هدررفت حاصل از فراریت، مخصوصاً برای اوره و کودهای آمونیومی کـه در خاک‌های دارای pH بالا مصرف می‌شوند، مشکل‌ساز است. نیتروژن معمولاً در شکل مایع پخش می‌شود (برگ افشان) و اغلب محلـول آن دارای سایر عناصر غذایی و یا دیگر مواد شیمیایی نیز می‌باشد (شکل ۲۳-۱۶ ب).

عیب دیگر پخش سطحی آن است که کود به آسانی به‌وسیله‌ی رواناب در باران‌های سنگین آبشویی می‌شود. در واقع بسیاری از مطالعات در مورد رواناب نشان داده‌اند که بیشتر هدررفت سالانه‌ی عناصر غذایی (و یا علف‌کش‌ها اگر پخش سطحی شوند) معمولاً در یک دو بارش سنگین پس از پخش سطحی صورت می‌گیرد.



شکل ۲۴-۱۶ کود شیمیایی بسته به شرایط ممکن‌است به روش‌های مختلفی استعمال گردد. روش‌های الف تا ج معرف پخش سطحی کود با و یا بدون مخلوط‌کردن آن با خاک است. روش‌های د، ه اشکال مختلف جایگذاری موضعی است. روش (ت) عبارتست از افشان برگی که دارای مزایا و محدودیت‌هایی می‌باشد. ۲ و یا ۳ نوع از این روش‌ها ممکن‌است در توالی با یکدیگر مورد استفاده باشند. برای مثال یک مزرعه با روش (ج) قبل از کشت آماده گردد. (د) ممکن‌است در حین کشت مورد استفاده باشد. (و) ممکن‌است به‌صورت کود کناری در اول فصل مورد استفاده باشد و بالاخره(ز) ممکن‌است برای اصلاح کمبود عناصر کم‌مصرف که در اواسط فصل آشکار می‌شود به‌کار رود.

استعمال در آب آبیاری: در مناطقی که آبیاری انجام می‌شود. کودهای مایع می‌توانند در آب آبیاری استعمال گردند. روشی که بعضی مواقع به آن کود آبیاری[1] گفته می‌شود. آمونیاک مایع، محلول‌های نیتروژن، اسید فسفریک و حتی کودهای کامل در جوی آبیاری و یا نظام آبیاری بارانی حل می‌شوند. بنابراین، عناصر غذایی در سطح خاک به‌صورت محلول پخش سطحی گردیده و به‌وسیله‌ی آب نفوذی به داخل خاک انتقال می‌یابند. در این روش نه‌تنها هزینه‌های استعمال کود کاهش می‌یابد بلکه می‌توان از حاملین نسبتاً ارزان نیتروژن نیز استفاده کرد. برای جلوگیری از هدررفت آمونیاک براثر فراریت و همچنین اجتناب از گرفته‌شدن نظام آبیاری به‌وسیله‌ی رسوبات حاصل از ترکیبات کودی، باید مقداری احتیاط لازم را بعمل آورد.

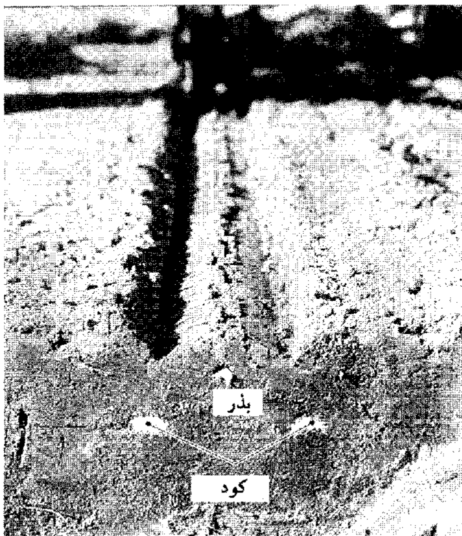
در پایان باید اشاره کرد که در زراعت‌ها با فاصله زیاد ردیف‌ها و یا نهال‌های جوان در کشت درختان جنگلی، پخش سطحی کود را در محلی قرار می‌دهد که دسترسی علف‌های هرز به آن دقیقاً همانند نبات مورد نظر می‌باشد.

جای‌گذاری موضعی

هرچند معمولاً تفکر بر این است که عناصر غذایی باید به‌طور کامل با منطقه‌ی انتشار ریشه مخلوط گردند تا گیاهان قادر باشند به آسانی نیازهای خود را مرتفع کنند، اما تحقیق به‌روشنی نشان داده است که گیاه به آسانی می‌تواند تمام عناصر مورد نیاز خود را از یک منبع غلیظ موضعی فقط در تماس با بخشی از شبکه‌ی ریشه تأمین کند. درحقیقت، بخش کوچکی از نظام ریشه نبات می‌تواند رشد کرده و در یک نوار کود شیمیایی گسترش یابد که در آن میزان شوری کود برای جوانه‌زدن بذر و یا یک نبات کامل که قسمت اعظم شبکه‌ی ریشه آن در معرض کود قرار گرفته است، مهلک باشد. این یافته تحقیقاتی امکان توسعه فناوری‌ها را برای جای‌گذاری کود فراهم کرده است.

حداقل دو دلیل برای این‌که چرا کود شیمیایی در صورت جای‌گذاری موضعی با تراکم بیشتر کود به‌جای مخلوط‌کردن خاک در تمام منطقه ریشه به‌وسیله‌ی نبات کاراتر مورد استفاده می‌باشد وجود دارد. اول آن‌که جای‌گذاری موضعی میزان تماس بین ذرات خاک و عناصر کود شیمیایی را کاهش داده و فرصت واکنش‌های منفی تثبیت را به‌حداقل می‌رساند. دوم غلظت عناصر غذایی محلول خاک در سطح ریشه بالا بوده و سبب ارتقای خیلی بیشتر جذب به‌وسیله‌ی ریشه‌ها می‌گردد.

مصرف کودهای آغازکننده رشد[2]: جای‌گذاری موضعی برای درختچه‌های جوان در خاک‌های خنک در اوایل بهار و برای نباتاتی که به‌سرعت رشد نموده و دارای تقاضای زیادی برای عناصر غذایی در اول فصل می‌باشند مخصوصاً مؤثر است. به این دلایل کود آغازکننده رشد اغلب به‌صورت نواری در هر دو طرف بذر هنگام کشت نبات جای‌گذاری می‌شود. از آن‌جاکه بذرهای درحال جوانه‌زدن می‌توانند به‌وسیله‌ی نمک کودها دچار صدماتی گردند و از آن‌جاکه این نمک‌ها با تبخیر آب از سطح خاک تمایل دارند که به بالا حرکت کنند، بهترین جای‌گذاری برای کود آغازکننده رشد ۵ سانتی‌متر زیر و ۵ سانتی‌متر جدا از ردیف بذرکاری می‌باشد(شکل ۲۴-۱۶د و۲۵-۱۶).



شکل ۲۵-۱۶ بسیاری از بذرکارهای جدید به ادوات مصرف نواری کود مجهز هستند که کود شروع‌کننده رشد را برای گیاهان ردیفی تا حدی در زیر و کنار بذر جای می‌گذارند. این جای‌گذاری خطر سوزاندن به‌وسیله‌ی کود را کاهش داده گرچه غلظت کود را در کنار بذر، که ریشه‌های نبات بلافاصله پس از جوانه‌زدن به آن مواجه می‌شوند، بالا می‌برد.

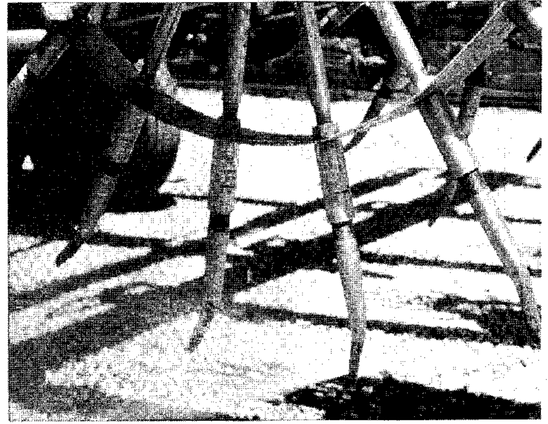
---

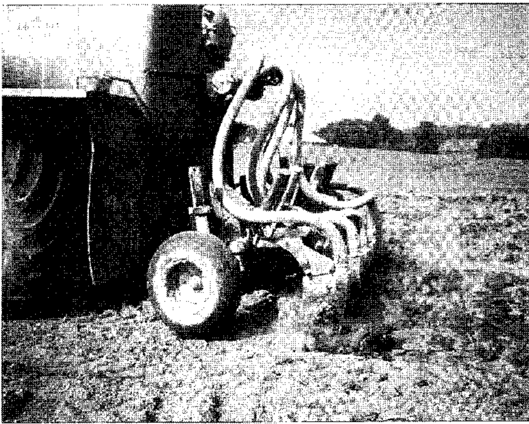
[1] - Fertigation
[2] -Starter Fertilizers

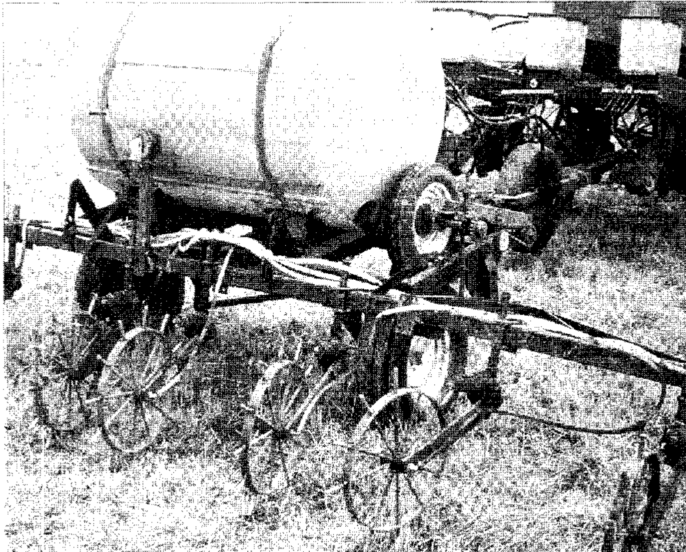
کودهای مایع: کودهای مایع و محلول‌های آبکی کود دامی و لجن فاضلاب می‌توانند به‌جای پخش سطحی در نوارهایی مصرف گردند. نوارهای این کودهای مایع در عمق ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر با استفاده از فرایندی که تزریق چاقویی نامیده می‌شود قرار می‌گیرد (شکل ۲۴-۱۶ هـ و ۲۶-۱۶). علاوه بر مزایایی که برای مصرف نواری کود بر شمرده شد، تزریق این مواد آلی آهکی از هدررفت رواناب و بوی بد جلوگیری می‌کنند.

آمونیاک مایع و محلول‌های نیتروژن تحت فشار باید برای جلوگیری از هدررفت ناشی از فراریت در داخل خاک تزریق گردند. نوارهای تزریقی به ترتیب در عمق ۱۵ و ۵ سانتی‌متر برای این دو ماده کافی می‌باشد.

استعمال قطره‌ای[1]: رهیافت دیگری برای مصرف‌کردن کودهای مایع (غیراز کود دامی آبکی) عبارت از قطره چکان‌کردن جویباری نازک از کود مایع در کنار ردیف‌های کشت به‌عنوان کود کناری[2] می‌باشد استفاده از قطره‌چکان به‌جای افشان پخش سطحی را به مصرف نواری تبدیل کرده و مایع کافی در منطقه‌ای باریک در خاک رسوخ می‌یابد. این عمل از هدررفت نیتروژن براثر فراریت ممانعت می‌کند.







شکل ۲۶-۱۶ عکس بالا چپ : لجن آبکی فاضلاب در داخل خاک قبل از کشت نبات اصلی تزریق چاقویی می‌شود. این روش تزریقی هدررفت رواناب و بوهای آزاردهنده را کاهش می‌دهد. کاردهای سبک‌تر (در شکل نشان داده نشده است) برای تزریق کودهای مایع به‌کار می‌رود. (زیر) توزیع‌کننده‌ی میله‌ای چرخ‌دار برای تزریق نقطه‌ای کود مایع (بالا راست) نمای نزدیک توزیع‌کننده میله‌ای چرخ‌دار.

1 - Dribble application
2 - Side dressing

تزریق نقطه‌ای[1]: جای‌گذاری موضعی کود می‌تواند در یک مرحله فراتر از مصرف نواری در نظامی که سامانه‌ی نقطه‌ای نام دارد به اجرا برسد. در این نظام مقادیر اندکی از کود مایع بدون به‌هم‌زدن ریشه نبات و بقایای پوشش سطحی(در خاک‌ورزی حفاظتی) در کنار هر نبات استعمال می‌گردد. وسیله‌ی تزریق، که در شکل ۲۶-۱۶ نشان داده شده است، شکل جدیدی از چوب نوک‌تیز سابق است که روستاییان در کشورهای جهان سوم بذر خود را با آن کشت کرده و بعدها بخشی از کود را در داخل خاک در کنار هر نبات، با کمترین امکان به‌هم‌زدن خاک‌پوش سطحی قرار می‌دادند.

آبیاری قطره‌ای[2]: استفاده از نظام آبیاری قطره‌ای (بخش ۱۱-۶ را مشاهده کنید) مصرف موضعی عناصر غذایی را در آب آبیاری بسیار آسان نموده است، چون کوددادن بدین‌صورت در فواصل زمانی مکرر انجام می‌شود گیاهان اساساً به‌طور مرتب تغذیه شده (با قاشق خوراندن) و کارایی استفاده از عناصر غذایی بسیار بالاست.

کوددادن حفره‌ای[3]: درختان در باغات میوه و کشت‌های زینتی به‌طور جداگانه می‌توانند به بهترین وجه مورد تیمار قرار گیرند. کود شیمیایی به‌فاصله تقریبی یک متر از تنه‌ی اصلی تا سایه‌انداز درخت استعمال می‌شود (شکل ۲۸-۱۶ ج). کود به بهترین وجه با روشی که روش حفره‌ای نامیده می‌شود با حفر حفره‌های متعددی در اطراف هر درخت در نصف بیرونی سایه‌انداز تا تنه درخت که تا لایه فوقانی خاک تحت‌الارضی عمق دارد، توزیع می‌شود. در داخل این چاله‌ها، که بعداً پر می‌شوند، مقدار مناسبی کود قرار می‌گیرد. حبه‌های مخصوص کود برای تحقق این هدف موجود است. این روش استعمال کود عناصر غذایی را در داخل منطقه‌ی انتشار ریشه جای‌گذاری کرده و از تحریک نامطلوب رشد علف هرز و یا گیاهان دیگر، که ممکن‌است در اطراف درخت سبز شوند ممانعت می‌کند. اگر گیاهان پوششی ویا چمن اطراف درخت نیازمند کوددادن باشند جداگانه مورد تیمار قرار می‌گرفته و کود در زمان بذرکاری به‌صورت دست‌پاش و یا ردیفی توزیع می‌شود.

مصرف برگی کود[4]

گیاهان قادرند که به‌مقدار محدودی عناصر غذایی را از طریق برگ‌های خود جذب کنند. در تحت شرایط خاص بهترین راه برای استعمال یک عنصر غذایی مصرف برگی با افشان‌نمودن یک محلول رقیق حاوی عنصر غذایی مورد نظر مستقیماً برروی برگ می‌باشد. کودهای شیمیایی رقیق‌شده NPK، عناصر کم‌مصرف و مقادیر اندک اوره را می‌توان به‌صورت محلول‌پاشی برگی مورد استفاده قرار داد، هرچند باید احتیاط لازم را برای اجتناب از غلظت قابل‌توجه Cl^- و NO_3^- که می‌توانند برای بعضی نباتات سمی باشند، مبذول داشت، مصرف برگی ممکن‌است به‌طور آسان با انجام عملیات صحرایی در محصولات درختی تناسب داشته باشد، مثلاً کود اغلب همزمان با آفت‌کش‌ها مصرف می‌شود.

میزان عنصر غذایی که در هر بار مصرف بر روی برگ پاشیده می‌شود کاملاً محدود است. بنابراین، درحالی‌که چند افشان ممکن‌است تمام نیازهای عناصر کم‌مصرف را در تمام فصل تأمین کند، فقط بخش کوچکی از نیازهای عناصر پرمصرف را می‌توان با این روش تأمین کرد. خطر صدمات برگی، به‌خصوص در هوای خشک گرم، وقتی محلول به‌سرعت از سطح برگ تبخیر گشته و نمک‌های کود را به‌جای می‌گذارد، بالاست. پاشیدن محلول در روزهای خنک ابری، و یا در ساعات اولیه‌ی صبح، و یا در ساعات پایانی عصر خطر صدمات را کاهش می‌دهد. استفاده از محلول رقیق مثلاً دارای ۱ تا ۲ درصد نیتروژن نیز صدمات را کاهش می‌دهد.

۱۴-۱۶ زمان مصرف کود

زمان مصرف عناصر غذایی در مزرعه تحت سیطره‌ی چندین نکته اساسی است: (۱) قابل‌استفاده‌بودن عنصر غذایی در زمانی که نبات به آن احتیاج دارد؛ (۲) اجتناب از قابلیت استفاده زیاد، به‌خصوص در نیتروژن قبل و بعد از زمان اصلی جذب به‌وسیله‌ی گیاه؛ (۳) عنصر غذایی زمانی قابل استفاده باشد، که سبب تقویت گیاهان دارای رشد طولانی و گیاهان چندساله گردد؛ (۴) انجام عملیات صحرایی وقتی شرایط موجود انجام آن‌ها را عملی و آسان می‌کند.

---

[1] - Point injection
[2] - Drip irrigation
[3] - Perforated method
[4] - Foliar application

قابلیت استفاده عنصر غذایی وقتی گیاهان به آن نیاز دارند

برای عناصر پویا مانند نیتروژن (و تا حدی پتاسیم)، قاعده کلی مصرف کود هرچه نزدیک‌تر به زمان جذب سریع عنصر غذایی به‌وسیله‌ی نبات است. برای گیاهان سریع‌الرشد یک‌ساله‌ی تابستانه مانند ذرت، این قاعده به معنی مصرف اندکی کود به‌عنوان آغازکننده در زمان کشت، و استعمال اکثر نیتروژن به‌صورت مصرف کناری درست قبل از ورود نبات به مرحله‌ی تجمع سریع عناصر غذایی در اندام‌های خود می‌باشد، که معمولاً ۴ تا ۶ هفته بعد از کشت است. برای گیاهان فصل خنک مانند گندم زمستانه و گندمیان چمنی به‌خصوص بیشتر نیتروژن باید در بهار(سبز شدن[1]) وقتی نباتات رشد سریع دوباره را آغاز می‌کنند، مصرف گردد. در منابع آلی کندآزادکننده عناصر غذایی باید زمانی برای معدنی‌شدن قبل از حداکثر جذب عنصر غذایی به‌وسیله‌ی گیاه در نظر گرفته شود.

مراحل حساس زیست‌محیطی

در اقالیم معتدل (یودیک و زریک)، اکثر آبشویی عناصر در زمستان و اول بهار صورت می‌گیرد که در آن‌وقت بارندگی بالا و تبخیر و تعرق پایین می‌باشد. نیترات باقی‌مانده پس از توقف جذب به‌وسیله‌ی نبات در این دوره دارای توان آبشویی می‌باشد. در این رابطه باید تذکر داد که در محصولات دانه‌ای میزان جذب عناصر غذایی در مرحله پرشدن دانه‌ها شروع به کاهش نموده، و عملاً مدت‌ها قبل از این‌که گیاه درو گردد، جذب متوقف می‌شود. در کودهای نیتروژنی شیمیایی اجتناب از وجود نیترات باقی‌مانده مسأله‌ای است مهم که میزان مصرف کود را محدود به مقدار قابل‌انتظار برای جذب به‌وسیله‌ی نبات می‌کند. هرچند در منابع آلی دیرآزادکننده عناصر غذایی با مصرف کود در آخر بهار یا اول تابستان، معدنی‌شدن احتمالاً به آزادکردن نیترات‌ها تا رسیدن کامل نبات و توقف جذب نبات نیز ادامه خواهد داد. اگر این زمان آزادشدن نیترات غیرقابل‌اجتناب باشد، نباتات غیرنیامدار پوششی زمستانه باید برای جذب نیتروژن آزادشده اضافی و جلوگیری از آبشویی آن در خاک در پاییز کشت شوند.

تقسیط مصرف کود: در مناطقی با بارندگی زیاد و خاک‌های نفوذپذیر، تقسیم‌نمودن مقادیر زیاد کود مورد نیاز نبات به دو یا سه نوبت مصرف از هدررفت ناشی از آبشویی قبل از استقرار نظام ریشه‌ی عمیق ممانعت می‌کند. در مناطق سردسیر، یک دوره حساس زیست‌محیطی در اوایل بهار وجود دارد و آن وقتی است که ذوب برف بر روی خاک یخ‌زده و یا خاک اشباع سبب بروز رواناب سنگین می‌شود که عناصر محلول غذایی موجود در کود دامی و یا کود شیمیایی را، که در سطح خاک و یا نزدیکی سطح خاک قرار گرفته است با خود به رودخانه‌ها حمل می‌کند.

استعمال کودهای نیتروژنی در جنگل‌های کامل هنگامی‌که وقوع بارندگی برای حمل عناصر به داخل خاک و به‌حداقل‌رساندن میزان اتلاف کود به‌وسیله‌ی فراریت قابل‌انتظار باشد انجام می‌گیرد. هرچند مشاهده‌ی نیترات در جریان‌های جویباری در این جنگل‌ها اغلب بیانگر این‌است که چنین استعمال سبب ایجاد یک اوج درخروج نیتروژن، چندین هفته به‌دنبال مصرف کود در این حوزه‌های جنگلی شده است.

زمان مناسب فیزیولوژیکی

قابل‌استفاده‌نمودن عناصر غذایی در زمانی که سبب تقویت نبات و بهبود کیفیت آن‌ها می‌شود مسأله‌ای مهم است. برای نمونه نیتروژن خیلی زیاد در تابستان ممکن‌است یک چمن علفی فصل خنک را به تنش دچار سازد.

درحالی‌که نیتروژن زیاد در آخر فصل میزان قند را در گیاهان تولیدکننده‌ی قند کاهش می‌دهد. تأمین مناسب پتاسیم، به‌خصوص در پاییز، برای قادرساختن نباتات به ارتقای مقاومت زمستانی مخصوصاً مهم است. پخش سطحی کود در باغ‌داری‌ها، بلافاصله پس از غرس نهال‌ها ممکن‌است بیشتر برای گیاهان هرز سریع‌الرشد، درمقایسه با نهال‌های موردنظر، سودمند باشد. در جنگل‌های درحال رشد، وقتی آسمانه‌ی درخت کامل شده است. پخش کود به‌وسیله‌ی چرخ‌بال معمولاً می‌تواند سودمند باشد.

محدودیت عملی مزرعه

بعضی مواقع استعمال کودهای شیمیایی در زمان مناسب به سادگی امکان‌پذیر نیست. برای نمونه، یک نبات ممکن‌است به مصرف کناری در آخر فصل عکس‌العمل نشان دهد. اگر گیاهان خیلی بلند باشند و نتوان آن‌ها را بدون ایجاد خسارت برای مصرف کود کنار زد، مصرف کود مشکل خواهد بود. مصرف به‌وسیله‌ی هواپیما می‌تواند سبب قابلیت انعطاف بیشتری در این موارد گردد. مصرف در اول بهار

---

[1] - Green up

ممکن‌است در مزارع خیلی مرطوب که تراکتور نمی‌تواند در آن‌ها کار کند محدودیت پیدا کند. هزینه‌های اقتصادی و یا زمان لازم برای انجام سایر فعالیت‌ها ممکن‌است نیازمند توافق قبلی در مورد زمان مصرف عناصر غذایی باشد.

۱۶-۱۵ روش‌ها و ابزارهای تشخیص

سه روش اساسی برای تشخیص مسائل حاصلخیزی خاک وجود دارد که عبارتند از : ۱)مشاهدات صحرایی ۲)تجزیه بافت گیاهی ۳)تجزیه خاک (آزمون خاک). برای راهنمایی مؤثر در مصرف عناصر غذایی، و همچنین تشخیص مسائل که در مزرعه رخ می‌دهد، هر سه رهیافت باید به‌طور جامع مورد استفاده قرار گیرند. برای ملاحظات دقیق و گزارش شواهد و علایم مزرعه‌ای جایگزینی نمی‌توان پیدا کرد. مشاهدات مؤثر و ارزیابی مسایل نیازمند مهارت و تجربه و همچنین یک فکر باز می‌باشد. غیرعادی نخواهد بود که علت یک مسأله‌ی حاصلخیزی در خاک موردنظر در واقع تراکم خاک، شرایط آب‌وهوایی، خسارت آفات و یا خطای انسانی باشد. وظیفه یک تشخیص‌دهنده، استفاده از تمام امکانات موجود برای تشخیص عامل محدودکننده‌ی رشد نبات بوده و سپس تصمیم‌گیری درمورد انجام یک سلسله اقدامات برای تخفیف محدودیت می‌باشد.

۱۶-۱۶ علایم و مشاهدات صحرایی

این فعالیت ردیابی می‌تواند یکی از جالب‌ترین و پرچالش‌ترین جنبه‌ی مدیریت عناصر غذایی باشد، برای این‌که تشخیص‌دهنده مؤثر حاصلخیزی خاک باشیم چند راهنمایی کلی یاری‌دهنده خواهند بود :

اول، یک روش منسجم برای ثبت مشاهدات خود تدوین کنید. ممکن‌است اطلاعاتی که جمع‌آوری می‌کنید برای تفسیر نتایج تجزیه‌ی خاک و گیاه که بعداً انجام خواهید داد مورد نیاز باشد.

دوم، به شیوه‌ها و حالت‌های خاص توجه کنید، چگونه مسأله به‌نظر می‌رسد که در چشم‌اندازهای اراضی و گیاهان به‌طور جداگانه توزیع یافته باشد. ممکن‌است شیوه خطی در یک مزرعه بیانگر مسأله‌ای مربوط به خاک‌ورزی، لوله زه‌کشی و یا توزیع غیرصحیح آهک و یا کود شیمیایی باشد. رشد ضعیف نبات در نقاط پست ممکن‌است مربوط به اثرات تهویه باشد. رشد ضعیف در نقاط مرتفع یک مزرعه بازتاب اثرات فرسایش وآشکارشدن مواد تحت‌الارض بایک pH نامناسب می‌باشد.

سوم، برگ‌های انفرادی نبات را برای تشخیص هر گونه علایم برگی به شدت مورد بررسی قرار دهید. کمبودهای عناصر غذایی می‌توانند علایم مشخص بر روی برگ‌ها و دیگر بخش‌های نبات ایجاد کند. نمونه‌هایی از این علایم در شکل‌های مختلف در فصول ۱۳و۱۵و تابلوهای رنگی ۲۸ تا ۳۳ نشان داده شده است. مشخص کنید که علایم بر روی برگ‌های جوان‌تر (در مورد تمام عناصر کم‌مصرف فلزی) نمایان‌تر است و یا در روی برگ‌های پیر (در مورد نیتروژن،پتاسیم، و منیزیم چنین است). بعضی از کمبودهای عناصر با اعتماد کامل از روی علایم برگی قابل تشخیص است. درصورتی که بقیه عناصر علایمی تولید می‌کنند که ممکن‌است با خسارات علف‌کش‌ها، حشرات، و یا تهویه ضعیف اشتباه تشخیص داده شوند.

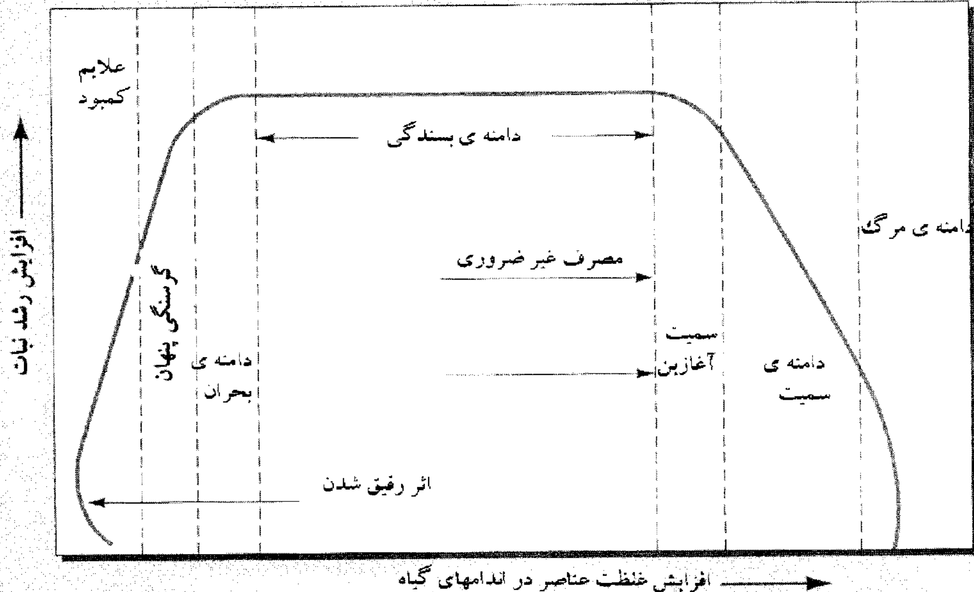
چهارم، اختلافات در رشد و عملکرد نبات را که ممکن‌است بازتاب سطوح مختلف حاصلخیزی خاک باشد مورد مشاهده و اندازه‌گیری قرار دهید، حتی اگر علایم برگی وجود نداشته باشد. رشد قسمت‌های فوقانی و تحتانی نبات را کنترل کنید، آیا قارچ ریشه در همزیستی با ریشه درختان وجود دارد ؟ آیا نیامداران به‌خوبی گره‌دار شده‌اند؟ آیا رشد ریشه به هر شکلی محدود شده است؟

پنجم، گزارشات مربوط به رشد نبات و یا عملکرد آن‌را در سال‌های قبل به‌دست آورید و سابقه‌ی مدیریت محل را برای هر چند سال که ممکن‌است معلوم کنید. اغلب مفید خواهد بود که یک نقشه از محل که نشان‌دهنده چهره‌های مورد مشاهده شما و توزیع علایم است تهیه کنید.

۱۶-۱۷ تجزیه‌ی گیاه و آزمایش بافت گیاهی

تمرکز عناصر اصلی در بافت گیاهی مربوط به رشد و یا عملکرد نبات می‌باشد، که در شکل ۲۷-۱۶ نشان داده شده است. دامنه‌ی بسندگی و دامنه‌ی بحرانی عناصر غذایی برای بسیاری از نباتات، به‌خصوص برای گیاهان عمده زراعی و گیاهان باغی مشخص شده است. درمورد درختان جنگلی و زینتی، مطالب کمتر شناخته شده می‌باشد. دامنه‌ی بسندگی برای ۱۱ عنصر اساسی در تعدادی از نباتات در جدول ۱۶-۱۶ درج شده است. گیاهان با غلظت عنصر مشخص در بافت‌های آن‌ها کمتر از آن‌چه در دامنه‌ی بسندگی آن عنصر داده شده است احتمالاً به اضافه‌کردن آن عنصر در صورتی که عامل محدودکننده‌ی دیگری وجود نداشته باشد عکس‌العمل نشان می‌دهند.

یک آزمون گیاهی که در سال‌های اخیر توجه زیادی به آن معطوف شده است عبارت از آزمون نیترات در ساقه ذرت در آخـر فصـل می‌باشد که برای بهبود مدیریت نیتروژن در ذرت به کار می‌رود. میزان نیترات در بخش پایین ساقه ذرت هنگام رسیدن فیزیولوژیکی نبـات اندازه‌گیری می‌شود. درحالی که این آزمون می‌تواند کمبود نیتروژن را تشخیص دهد، در تعیین مقادیر زیادی نیتروژن نیز در هنگام برداشت سودمند است، که خود بیانگر مقادیر زیاد نیتروژن در داخل خاک است. نتایج می‌تواند برای نظارت بر تناسب نظام‌های مدیریت نیتـروژن و تنظیم آن‌ها در آینده به‌کار رود.



شکل ۲۷-۱۶ رابطه‌ی بین رشد و یا عملکرد نبات با غلظت یک عنصر غذایی اساسی در اندام گیاهی. برای اکثر عناصر غذایی یک دامنه‌ی نسبتاً وسیع در گیاهان سالم، معمولی وجود دارد (دامنه‌ی بسندگی). در خارج از این دامنه، رشد گیاهی یا از کم‌بودن و یا از زیادبودن عنصر غذایی کاهش خواهد یافت. دامنه‌ی بحرانی معمولاً برای تشخیص کمبود عنصر غذایی به‌کار می‌رود. غلظت عنصر غذایی پایین‌تر از دامنه‌ی بحرانی احتمالاً رشد گیاه را محدود می‌کند. گرچه علایم کمبود نیز مشاهده نشود. این سطح متوسط کمبود بعضی مواقع گرسنگی پنهان نامیده می‌شود. حالت حلقه‌مانند در پایین سمت چپ منحنی حاصل فرایندی به‌نام اثر رقیق‌شدن است که معمولاً وقتی یک نبات کاملاً از رشد بازمانده‌ی دارای کمبود، مقدار کمی از عنصر غذایی محدودکننده را دریافت می‌دارد مشاهده می‌شود. ممکن‌است واکنش رشد چنان زیاد باشد که با وجود جذب مقدار زیادی از آن عنصر، غلظت آن در جرم بسیار بیشتر نبات رقیق شود.

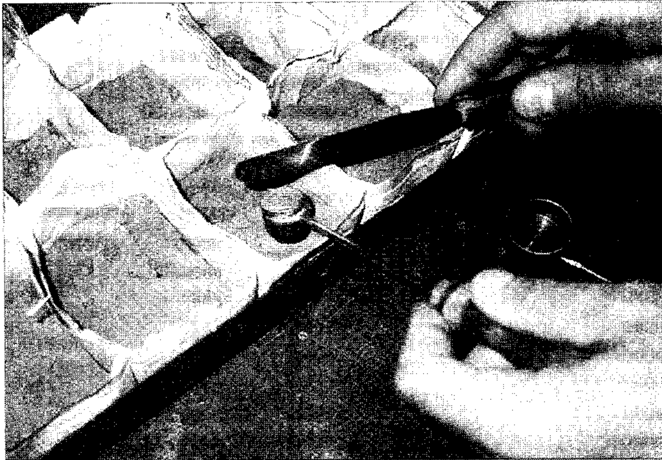
تجزیه‌ی اندام‌های گیاهی می‌تواند یک وسیله‌ی نیرومند برای تشخیص مسایل تغذیه‌ای نبات باشد به‌شرط آن‌کـه چنـد احتیـاط سـاده معمول گردد. اول، نمونه‌برداری از بخش درست نبات اساسی است. دوم، بخش مورد نظر نبات باید در مرحله‌ی مشخص رشد نمونه‌برداری شود، زیرا غلظت اکثر عناصر غذایی با رسیدن نبات به‌مقدار قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. سوم، باید متوجه بود کـه غلظـت یـک عنصـر ممکن‌است به‌وسیله‌ی عنصر دیگری تحت تأثیر قرار گیرد و بنابراین، بعضی مواقع نسبت یک عنصر غذایی به عنصردیگر (برای نمونه منیزیم به پتاسیم، گوگرد به نیتروژن، و آهن به منگنز) ممکن‌است قابل‌اعتمادترین راهنما از حالت تغذیـه‌ی نبـات باشـد. در واقـع چنـدین نظـام پیچیده‌ی ریاضی برای ارزیابی نسبت‌ها و یا تعادل دربین عناصر غذایی برای بعضی از گونه‌های گیاهی ارائه شده است که مفید می‌باشـند[1]. به‌خاطر عدم اطمینان و پیچیدگی در تفسیر اطلاعات مربوط به غلظت عناصر در اندام گیاهی، عاقلانه این است که از نباتـات از بهتـرین و بدترین مناطق مزرعه و یا وضعیت ظاهری آن‌ها نمونه‌برداری شود. اختلاف در بین این نمونه‌ها ممکن‌است کلیدهای باارزشی در ارتباط بـا سرشت عناصرغذایی به‌دست دهد.

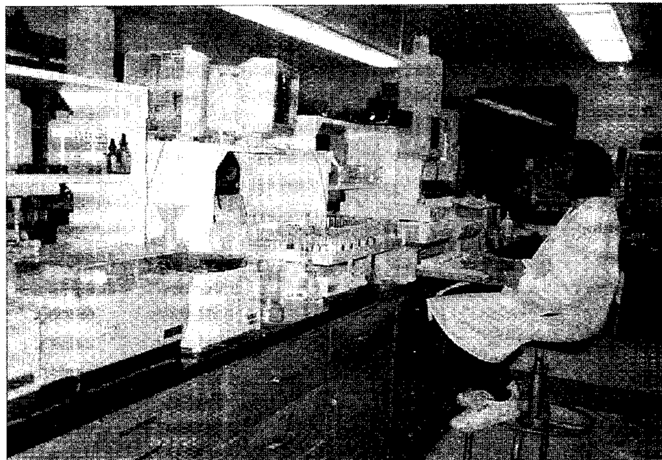
---

[1] - تکامل‌یافته‌ترین نظام نسبت چندعنصری با عنوان نظام جامع توصیه‌های تشخیصی DRIS (Diagnostic Recommendation Integrated System) مشهور است که توسط Sumner تکامل یافته است.

جدول ۱۶-۱۶ راهنمایی برای تجزیه‌ی اندام نباتی از گزیده‌ای گونه‌های گیاهی (ارقام داده شده مربوط به دامنه‌ی کفایت می‌باشد)

گونه گیاهی	اندام مورد نمونه‌برداری و زمان	نیتروژن %	فسفر %	پتاسیم %	کلسیم %	منیزیم %	گوگرد %	آهن µg/g	منگنز µg/g	روی µg/g	بر µg/g	مس µg/g
درخت کاج *Pinus spp*	برگ‌های سوزنی سال جاری در انتهای شاخه	۱/۲-۱/۴	۰/۱-۰/۱۸	۰/۳-۰/۴۵	۰/۱۳-۰/۱۶	۰/۰۵-۰/۰۹	۰/۰۸-۰/۱۲	۲۰-۱۰۰	۵۰-۶۰۰	۲۰-۵۰	۳-۹	۲-۶
علف چمنی	چمن تراشیده	۲/۷۵-۳/۵	۰/۳-۰/۵۵	۱-۲/۵	۰/۵-۱/۲	۰/۲-۰/۶	۰/۲-۰/۴۵	۳۵-۱۰۰۰	۲۵-۱۵۰	۲۰-۵۵	۱۰-۶۰	۵-۲۰
ذرت *Zea mays*	برگ بلال در کاکل دهی	۲/۵-۳/۵	۰/۲-۰/۵	۱/۵-۳	۰/۲-۱	۰/۱۶-۰/۴	۰/۱۶-۰/۵	۲۵-۳۰۰	۲۰-۲۰۰	۲۰-۷۰	۶-۴۰	۶-۴۰
سویا *Glycine max*	سه برگی - مرحله گلدهی	۴-۵	۰/۳۱-۰/۵	۲-۳	۰/۴۵-۲	۰/۲۵-۰/۵۵	۰/۲۵-۰/۵۵	۵۰-۲۵۰	۳۰-۲۰۰	۲۵-۵۰	۲۵-۶۰	۸-۲۰
سیب *Malus spp*	برگ از پایه شاخه‌های بدون گل (میوه)	۱/۸-۲/۴	۰/۱۵-۰/۳	۱/۲-۲	۱-۱/۵	۰/۲۵-۰/۵	۰/۱۳-۰/۳	۵۰-۲۵۰	۳۵-۱۰۰	۲۰-۵۰	۲۰-۵۰	۵-۲۰
گندم *Tritcum spp*	اولین برگ در بالای بوته	۲/۲-۳/۳	۰/۲۴-۰/۳۶	۲-۳	۰/۲۸-۰/۴۲	۰/۱۹-۰/۳	۰/۲-۰/۳	۳۵-۵۵	۳۰-۵۰	۲۰-۳۵	۵-۱۰	۶-۱۰
گوجه‌فرنگی *Lycopersicon esculentum*	برگ تازه رسیده در اوایل گلدهی	۳/۲-۴/۸	۰/۳۲-۰/۴۸	۲/۵-۴/۲	۱/۷-۴	۰/۴۵-۰/۷	۰/۶-۱	۱۲۰-۲۰۰	۸۰-۱۸۰	۳۰-۵۰	۳۵-۵۵	۸-۱۲
یونجه *Medicago sativn*	۱/۳ بخش فوقانی نبات در گلدهی اول	۳-۴/۵	۰/۲۵-۰/۵	۲/۵-۳/۸	۱-۲/۵	۰/۳-۰/۸	۰/۳-۰/۵	۵۰-۲۵۰	۲۵-۱۰۰	۲۵-۷۰	۶-۲۰	۳۰-۸۰





شکل ۲۸-۱۶ (بالا) بعد از آن‌که یک نمونه خاک به‌وسیله‌ی آزمایشگاه تجزیه‌ی خاک دریافت گردید، خاک کوبیده شده و برای ایجاد یک گرد یکنواخت الک می‌شود. سپس مقدار کمی از آن وزن شده مورد تجزیه شیمیایی قرار می‌گیرد. این نمونه‌ی کوچک باید معرف هزاران تن خاک در مزرعه باشد. (پایین) بعد از این‌که بخشی از عناصر غذایی در نمونه عصاره‌گیری شد، محلول حاوی این عناصر غذایی تحت تجزیه قرار می‌گیرد. از آن‌جاکه آزمایشگاه‌های خاک‌شناسی روزانه باید صدها و یا هزارها نمونه را تجزیه کنند، تجزیه‌ها معمولا خودکار شده و نتایج به‌وسیله‌ی رایانه ثبت و تفسیر می‌شود.

۱۸-۱۶ آزمون خاک

از آن‌جاکه مقدار کل یک عنصر غذایی در خاک اطلاعات اندکی درباره توانایی خاک و تأمین آن عنصر برای جذب به‌وسیله‌ی نبات به‌دست می‌دهد، روش معنی‌دارتر تجزیه‌ی جزیی[1] خاک ابداع شده است. آزمون خاک خود یک نوع تجزیه‌ی جزیی معمول است که برای هدایت مدیریت عناصر غذایی انجام می‌شود.

فرایند آزمون خاک شامل ۳ مرحله‌ی اساسی است (۱) نمونه‌برداری از خاک (۲)تجزیه‌ی شیمیایی نمونه و (۳) تفسیر نتایج تجربه برای توصیه نوع و مقدار عناصر غذایی مورد استفاده.

نمونه‌برداری از خاک

عده زیادی از نمونه‌برداری خاک به‌عنوان یکی از ضعیف‌ترین حلقه‌های فرایند آزمون خاک نام می‌برند. بخشی از مسأله بدین علت است که یک قاشق چای‌خوری خاک (شکل ۲۸-۱۶) نهایتاً به‌عنوان معرف میلیون‌ها کیلوگرم خاک در طبیعت مورد آزمون قرار می‌گیرد. از آن‌جاکه خاک‌ها هم در مقیاس افقی و هم قائم بسیار متغیرند، ضروری است که توصیه‌های نمونه‌برداری را از آزمایشگاه‌های آزمون خاک به‌دقت به‌کار ببندیم.

به‌دلیل وجود تغییرات در میزان عناصر غذایی در نقاط مختلف، اغلب مصلحت این است که یک مزرعه و یا محدوده‌ی ملکی را تا آن‌جا که عملی است هنگام برداشت نمونه‌های خاک برای تعیین میزان عناصر غذایی به مناطق مجزا تقسیم نمود. برای مثال، فرض کنید که یک مزرعه ۲۰ هکتاری دارای ۲ هکتار زمین پست، در وسط و ۵ هکتار در گوشه‌های آن است که برای مرتع استفاده می‌شود. از این دو منطقه باید جدا از باقی اراضی مزرعه نمونه‌برداری به‌عمل آمده و جدا از باقی مزرعه بعداً مورد مدیریت قرار

---

[1]- Partial analysis

گیرند. یک مالک خانه شخصی به‌طور مشابه باید از بستر گل‌های خود جدا از مناطق چمن‌کاری، و از مناطق پست جدا از مناطق شیب‌دار و غیره نمونه بردارد. از طرف دیگر باید از برداشت نمونه در اراضی با خاک‌های غیرمعمول که برای اعمال مدیریت جداگانه بسیار کوچک و قناس هستند اجتناب کرده و در نمونه‌برداری مرکب از سطح مزرعه مورد نظر قرار نگیرند.

نمونه‌ی مرکب : معمولاً یک نمونه‌بردار لوله‌ای برای برداشت یک نمونه استوانه‌ای حداقل از ۱۵ تا ۲۰ نقطه پراکنده در سطح زمین مورد بررسی مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۲۹-۱۶). ۱۵ تا ۲۰ نمونه‌ی فرعی در یک سطل پلاستیکی کاملاً مخلوط شده و حدود نیم لیتر خاک آن در یک ظرف برچسب‌دار قرار داده و به آزمایشگاه فرستاده می‌شود. اگر خاک مرطوب باشد، باید قبل از بسته‌بندی برای تجزیه بدون درمعرض قرارگرفتن آفتاب و حرارت، در هوا خشک گردد. ممکن‌است حرارت‌دادن نمونه نتایج نادرست برای عناصر خاص ارائه کند.

هنگام نمونه‌برداری از خاک باید به دو سوال پاسخ داده شود: (۱)تا چه عمقی باید نمونه‌برداری گردد، و (۲) چه وقتی از سال باید نمونه برداشت گردد.

عمق نمونه‌برداری : عمق استاندارد برای نمونه‌برداری از یک خاک شخم‌خورده عمق لایه‌ی شخم یعنی ۲۰-۱۵ سانتی‌متر است. گرچه تا اعماق دیگری نیز می‌توان در مواردی نمونه‌برداری کرد (شکل۲۹-۱۶). از آن‌جاکه در بسیاری از خاک‌های شخم نخورده عناصر غذایی در لایه‌های مغایر باهم توزیع یافته‌اند، عمق نمونه‌برداری می‌تواند نتایج حاصل را به مقدار زیادی تغییر دهد.

چه زمانی از سال: تغییرات فصلی معمولاً در نتایج تجزیه خاک در یک مزرعه مشاهده می‌شود. برای نمونه میزان پتاسیم معمولاً در اول بهار، به‌دنبال یخ‌زدن آب و ذوب آن به‌دلیل آزادشدن مقدار پتاسیم تثبیت‌شده در بین لایه‌های رس، در بالاترین مقدار، و در تابستان، بعد از برداشت اکثر پتاسیم قابل‌استفاده آزادشده، در کمترین مقدار است. زمان نمونه‌برداری به‌خصوص اگر مقایسه‌ای در مورد عناصر سال به سال به‌عمل آید، بسیار مهم خواهد بود. روش خوب این است که در هر مزرعه هر سال و یا هر دو سال یکبار (اغلب در همان موقع سال) نمونه‌برداری انجام گیرد تا مقادیر حاصل از تجزیه‌ی خاک در طول سال‌ها بتواند برای آن‌که مشخص کند میزان عناصر غذایی حفظ گردیده، افزایش یافته و یا تخلیه گردیده است مورد ارزیابی قرار گیرد.

زمان نمونه‌برداری برای آزمون اختصاصی نیتروژن: زمان نمونه‌برداری در تعیین مقدار نیتروژن معدنی‌شده در منطقه ریشه حیاتی است. در مناطق نسبتاً خشک و سرد (دشت‌های بزرگ آمریکا) آزمون نیترات باقی‌مانده در نمونه‌های با عمق۶۰ سانتی‌متر در فاصله زمانی بین پاییز و قبل از کشت بهاره انجام می‌شود. در مناطق مرطوب که آبشویی نیترات خیلی شدیدتر است یک آزمون برای تعیین این‌که خاک نیتروژن کافی برای محصول ذرت آزاد می‌کند و یا نه ابداع گردیده است. در این آزمون (آزمون قبل از جای‌گذاری کناری نیترات)[1] از ۳۰ سانتی‌متری فوقانی خاک وقتی ذرت حدود ۳۰ سانتی‌متری ارتفاع دارد، و درست زمان واقعی برای تعیین مقدار نیتروژن مورد نیاز نبات هنگام ورود آن به سریع‌ترین دوره‌ی جذب می‌باشد نمونه‌ها برداشت می‌شوند. در این مورد خاک باید در زمان بسیار کوتاه، وقتی معدنی‌شدن بهاره به حداکثر رسیده اما جذب گیاهی هنوز برای تخلیه‌ی نیترات خاک آغاز نگردیده نمونه‌برداری گردد (شکل ۶-۱۳ را مشاهده کنید).

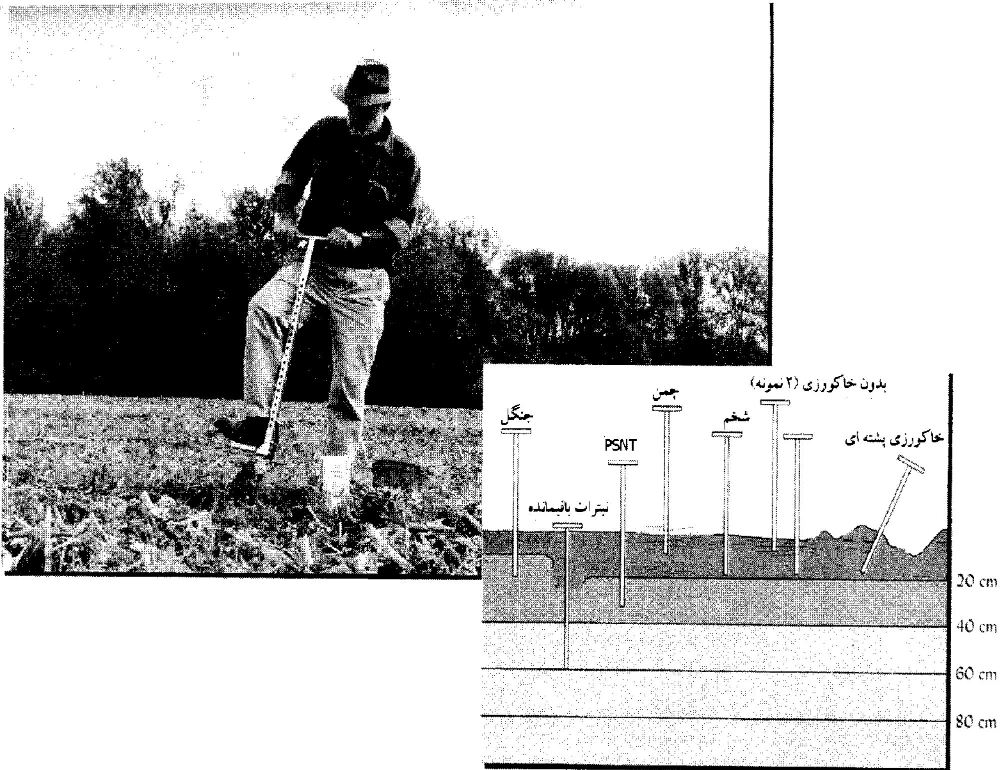
تجزیه شیمیایی نمونه خاک

آزمون خاک به‌طور کلی بر آن است که از خاک مقدار عناصر غذایی اصلی را که در همبستگی با عناصر جذب شده به‌وسیله‌ی نبات است استخراج کند. محلول‌های مختلف عصاره‌گیری به‌وسیله‌ی آزمایشگاه‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند، محلول‌های نمک بافر مانند استات سدیم و یا استات آمونیوم و یا مخلوطی از اسیدهای ضعیف و عوامل کیلات برای عصاره‌گیری بیشتر از بقیه معمول می‌باشند. عصاره‌گیری با قراردادن مقدار اندکی خاک وزن شده در یک بطری همراه عامل عصاره‌گیری و تکان‌دادن مخلوط برای مدت زمان معینی به انجام می‌رسد، سپس مقدار عناصر غذایی مختلف که به‌داخل محلول وارد می‌شوند تعیین می‌گردد. کل فرایند معمولاً چنان خودکار گردیده است که یک آزمایشگاه امروزی می‌تواند صدها نمونه را در هر روز تجزیه کند.

معمول‌ترین آزمون‌های مرسوم و قابل اعتماد برای pH، پتاسیم، فسفر و منیزیم انجام می‌شود. عصاره‌ی عناصر کم‌مصرف بعضی مواقع با استفاده از عامل کیلات به‌خصوص در خاک‌های آهکی در مناطق خشک تهیه می‌گردد. برآورد قابلیت استفاده

[1]- Pre – Sidedress Nitrate Test (PSNT)

نیتروژن، گوگرد به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای مشکل‌تر می‌باشد، زیرا بسیاری از عوامل زیستی در آن دخالت دارند، اما نیترات و سولفات موجود در خاک فقط در زمان نمونه‌برداری اندازه‌گیری می‌شود.



شکل ۲۹-۱۶ (بالا)برداشت نمونه خاک در مزرعه اغلب پر اشتباه‌ترین مرحله از فرایند آزمون خاک است زیرا خصوصیات خاک در ارتباط با عمق و محل با محل حتی در یک مزرعه به نظر یکنواخت متفاوت است. از مناطقی که به‌طورآشکار غیریکنواخت می‌باشند (نقاط مرطوب، نقاطی که کود دامی تل‌انبار شده است و نقاط فرسایش‌یافته)باید اجتناب کرد.(پایین) عمق مناسب نمونه‌برداری در ارتباط با هدف آزمون خاک و سرشت خاک است، بعضی از عمق‌های پیشنهاد شده در موقعیت‌های مختلف نشان داده شده است.

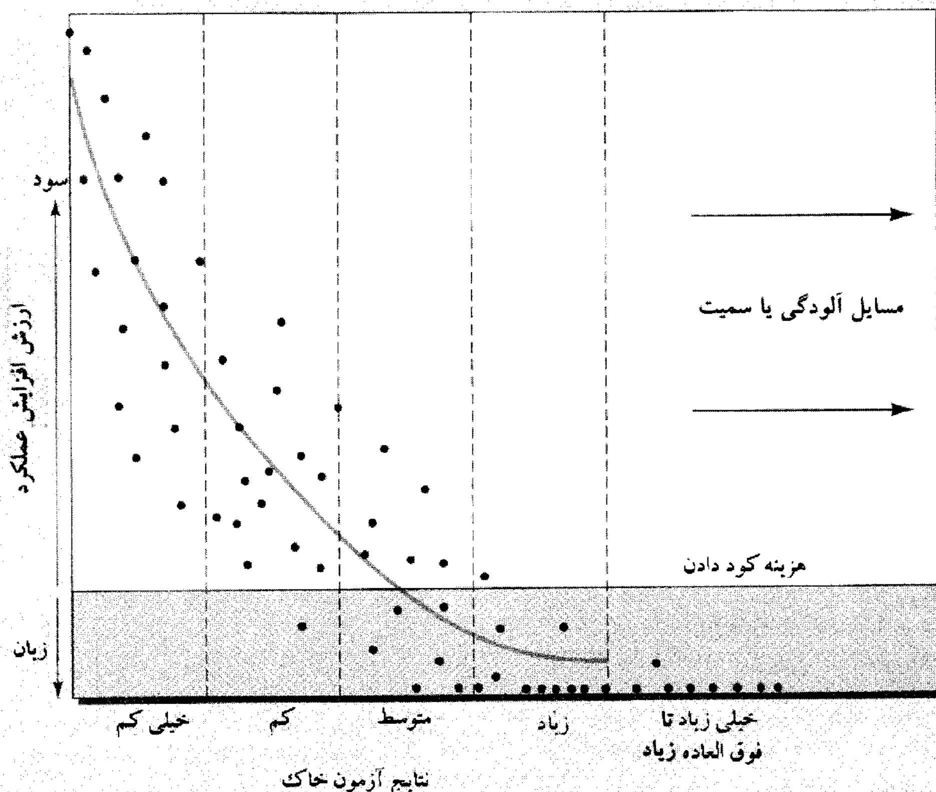
از آن‌جاکه ممکن‌است این‌که روش‌های مورد استفاده به‌وسیله‌ی آزمایشگاه‌های مختلف برای خاک‌های مختلف متفاوت باشند، منطقی این است که نمونه خاک به آزمایشگاهی در همان منطقه فرستاده شود که خاک در آنجا نمونه‌برداری شده است، زیرا این آزمایشگاه بیشتر روش‌هایی را به‌کار می‌گیرد که برای خاک‌های منطقه مربوط به خود مناسب بوده و احتمال دسترسی به اطلاعات همبستگی نتایج آزمایش‌ها را با عکس‌العمل نبات به خاکی از همان نوع داشته باشد.

آزمون‌های خاک طراحی شده برای استفاده در خاک مزرعه و یا خاک‌های مورد مصرف در گلدان معمولاً نتایج معنی‌داری در هنگام استفاده در گلدان‌های متکی به پیت مصنوعی فاقد خاک به‌دست نمی‌دهند. روش‌های خاص عصاره‌گیری در این مورد آخر باید به‌کار برده شده و آن‌وقت همبستگی نتایج با جذب عناصر غذایی و رشد نبات در محیط مشابه تعیین گردد. این مثال‌ها اهمیت ارائه‌ی اطلاعات کامل را درمورد سرشت نمونه خاک موردنظر، سابقه‌ی مدیریت و برنامه موجود برای استفاده آتی را به آزمایشگاه‌ها نیز روشن می‌سازد.

تفسیر نتایج برای انجام توصیه کودی

این مرحله یکی از بحث‌برانگیزترین جنبه‌های آزمون خاک است. ارقام آزمون خاک تنها یک شاخص از توان تأمین عناصر غذایی است و مقدار عناصر را که تأمین خواهند شد تعیین نخواهد کرد. به این دلیل، بهترین راه این است که نتایج آزمون خاک بیشتر به‌صورت کیفی در نظر گرفته شوند.

لازم است آزمایش‌های صحرایی در نقاط مختلف برای سال‌های طولانی انجام شود تا مشخص کنیم کدام سطح آزمون خاک بیانگر ظرفیت کم، متوسط، یا زیاد تأمین عناصر غذایی مورد بررسی می‌باشد. به‌همین ترتیب، این گروه‌بندی‌ها برای پیش‌بینی کسب عکس‌العمل سودمند از مصرف عناصر غذایی مورد آزمون به‌کار می‌رود (شکل ۳۰-۱۶).



شکل ۳۰-۱۶ رابطه‌ی بین نتایج آزمون خاک در مورد یک عنصر غذایی و عملکرد اضافی به‌دست آمده با کوددادن با همان عنصر غذایی. هر نقطه اطلاعاتی معرف اختلاف در بین عملکرد نبات در خاک کود خورده و کود نخورده می‌باشد. به‌دلیل آن‌که بسیاری از عوامل در عملکرد مؤثرند و به‌خاطر آن‌که آزمون خاک فقط به‌طور تقریبی قابلیت استفاده عنصر را پیش‌بینی می‌کند، رابطه خیلی دقیق نیست، اما نقاط اطلاعاتی در اطراف خط همبستگی پراکنده می‌باشد. اگر نقطه بالاتر از خط هزینه‌ی کود باشد عملکرد اضافی دارای درآمد بیشتری از هزینه کود بوده و سودی حاصل خواهد شد. در آزمون خاک در گروه‌بندی کم و خیلی کم، عکس‌العمل سودآور به مصرف کود محتمل خواهد بود. و در گروه‌بندی متوسط، احتمال عکس‌العمل سودآور ۵۰ : ۵۰ و در گروه‌بندی بالا، عکس‌العمل سودآور محتمل نیست.

توصیه‌های کودی، دانش عملی در گیاهان مورد کشت، خصوصیات خاک مورد مطالعه و سایر شرایط محیطی را موردنظر قرار می‌دهند. سابقه مدیریت و مشاهدات صحرایی می‌تواند در تعیین ارتباط اطلاعات آزمون خاک با مصرف کود به ما کمک کنند.

تفسیر نتایج آزمون خاک به‌وسیله‌ی کارشناس فنی و آزموده باتجربه، که به‌طور کامل اصول علمی مهم در عملیات معمول مزرعه‌ای را درک می‌کنند، به‌خوبی قابل انجام است. در آزمایشگاه‌های نوین عواملی که باید در انجام توصیه‌های کودی مورد ملاحظه قرار گیرند در یک رایانه برنامه‌ریزی شده است، و تفسیر برای استفاده‌ی زارع و یا باغ‌دار چاپ می‌شود (شکل ۳۱-۱۶).

ارزش آزمون خاک

از بحث قبلی نباید چنین استنتاج گردد که محدودیت‌های آزمون خاک از مزایای آن بیشتر است. وقتی احتیاط‌هایی که قبلاً تشریح گردید مورد ملاحظه قرار گیرند، آزمون خاک یک وسیله‌ی ارزشمند برای انجام توصیه‌های کودی می‌باشد.

وقتی همبستگی اطلاعات آزمون خاک با نتایج آزمایش‌های کودی صحرایی مشخص شود، این اطلاعات دارای بالاترین فایده خواهند بود (شکل ۳۲-۱۶).

گزارش آزمون خاک

نام متقاضی ساکن آلاباما دانشگاه ابرن

نشانی ۱۱۸ خیابان اصلی آزمایشگاه آزمون خاک

شهر آلاباما ۳۶۸۳۰ دانشگاه ابرن- آلاباما ۳۶۸۴۹ شهرستان لی

بخش ۲/

شماره‌ی آزمایشگاه	شماره‌ی خاک فرستنده	نباتی که باید کشت شود	گروه خاک*	نتایج تجزیه‌ی خاک				توصیه‌ها			
				pH**	P***	K***	Mg***	آهک، تن در ایکر	N، پوند در ایکر	P_2O_5، پوند در ایکر	K_2O، پوند در ایکر
۲۳۸۸۷	۱	سویا	۲	۵/۳	کم۷۰	متوسط۷۰	زیاد۱۶۰	۲	۰	۸۰	۴۰
نظریه ۲۲۴-اسیدیته خاک می‌تواند با استفاده از آهک دولومیتی یا کلسیتی اصلاح گردد.											
۲۳۸۸۸	۲	ذرت	۱	۵/۶	کم۷۰	متوسط۷۰	زیاد۱۶۰	۱	۱۲۰	۸۰	۴۰
نظریه ۲۲۴ فوق مشاهده شود. نظریه ۱۵- ممکن‌است ذرت در خاک‌های شنی به مقدار زیاد نیتروژن با ۱۵۰ پوند در ایکر عکس‌العمل نشان دهد در خاک‌های شنی ۳ پوند روی در کود بعد از آهک‌دادن و یا وقتی pH بالای ۶ باشد مصرف کند.											
۲۳۸۸۹	۳	باهیا	۱	۶	متوسط ۱۰۰	زیاد ۱۴۰	زیاد ۲۴۰	۰	۶۰	۴۰	۰
۲۳۸۹۰	باغ	سبزی‌ها	۳	۵/۲	متوسط ۹۰	متوسط ۷۰	زیاد ۱۶۰	۳	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰
نظریه ۲۲۴ فوق مشاهده شود. نظریه ۸۲ -در هر ۱۰۰متر ردیف کشت ۶ پوند کود ۸-۸-۸ (۳ کوارت) در هنگام کشت و۴ پوند از کود ۸-۸-۸ (۲ کوارت) به‌صورت جای‌گذاری کناری مصرف کنید.											

*** در مراتع گندمیان تابستانه فسفر و پتاس را مطابق توصیه استعمال کنید ۶۰ پوند نیتروژن قبل از شروع رشد تا اول سپتامبر به‌کار ببرید، مصرف نیتروژن را وقتی رشد بیشتر مورد نظر است تکرار کنید.

*** ۱ تن آهک در ایکر حدوداً مساوی ۵۰ پوند در ۱۰۰۰ فوت مربع است.

*** برای کلم‌گل بروکسلی، و گیاهان ریشه‌ای ۱ پوند بر(B) در ایکر به‌کار ببرید. برای باغچه‌های منازل یک قاشق غذاخوری بوراکس در ۱۰۰ فوت ردیف کشت مصرف کنید.

*۱- خاک‌های شنی ** ۶/۵ و یا کمتر اسیدی ۷/۴وبا بیشتر قلیایی تصویب گردید

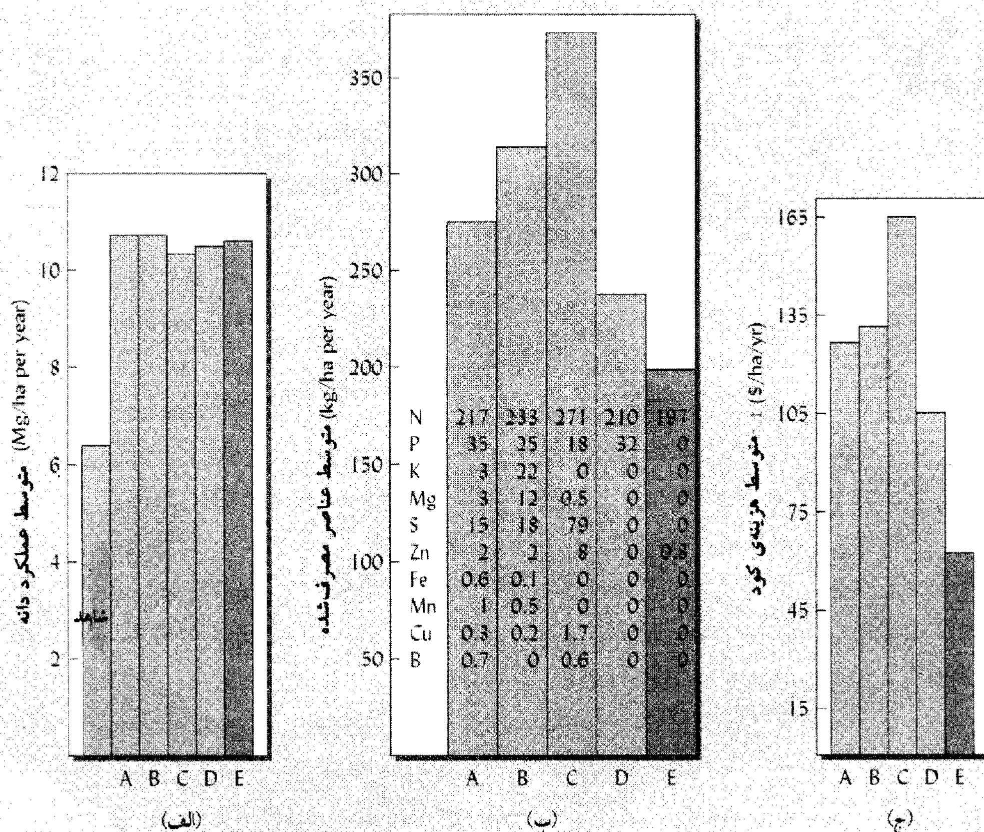
۲- لوم و رس سبک ۵/۵ و پایینترخیلی اسیدی ۶/۶-۷/۳خنثی

۳- رس سنگین به استثنای سری کمربند سیاه

۴- رس سنگین سری کمربند سیاه *** درجه‌بندی و حاصلخیزی (درصد کفایت) نمونه‌ی آزمون خاک B

شکل ۳۱-۱۶ نمونه‌ای از یک گزارش آزمون خاک که ارقام آزمون خاک و توصیه‌های مصرف کود و آهک را ارایه می‌دهد

کاربرد آزمون خاک در نظام‌های کشاورزی از اهمیتی فراوان برخوردار است. درحالی‌که ثابت شده است که تجزیه‌ی برگی در جنگل بسیار مفید می‌باشد. محدودیت استفاده از آزمون خاک در جنگل احتمالاً درنتیجه‌ی لایه‌بندی پیچیده خاک‌های جنگلی است که سبب ایجاد عدم اطمینان بالا در مورد نحوه انتخاب یک نمونه معرف از خاک برای تجزیه می‌شود. همچنین به‌دلیل چهارچوب زمانی طولانی رشد جنگل، درمقایسه، اطلاعات اندکی در مورد همبستگی سطوح آزمون خاک با عملکرد چوب وجود دارد، درحالی‌که این اطلاعات در گیاهان زراعی به مقدار زیادی موجود است (شکل ۳۰-۱۶ را مطالعه کنید). با وصف این‌که رابطه بین رشد درخت و سطح آزمون خاک برای اکثر نظام‌های جنگلی به‌خوبی شناخته شده نیست، آزمون خاک استاندارد زراعی هنوز می‌تواند در تشخیص خاک‌هایی که توانایی آن‌ها برای تأمین P و K در مقایسه با خاک‌هایی که دارای توان اندک تأمین این عناصر هستند سودمند باشد.



شکل۳۲-۱۶الف عملکرد ذرت در کرت‌های آزمایشی در نزدیک پالت شمالی[1] در ایالت نبراسکا که ۵ میزان مختلف کود که به‌وسیله‌ی ۵ آزمایشگاه خاک‌شناسی توصیه شده‌اند دریافت می‌دارند(A-E). اطلاعات متوسط ۶ سال است. سری خاک لوم سیلتی کوزاد (فلونتیک هاپلوستول)[2] می‌باشد. ب مقادیر مختلف عناصر غذایی که به‌وسیله‌ی این آزمایشگاه‌ها توصیه شده است. و ج هزینه‌ی سالانه کود مصرف شده است. توجه داشته باشید که عملکرد در تمام کرت‌های کودخورده حدوداً مساویند. گرچه میزان مصرف کود شیمیایی به‌طور چشم‌گیر متفاوت بود. میزان کود سفارش‌شده به‌وسیله‌ی آزمایشگاه E از فرضیه سطح کفایت براساس همبستگی آزمون خاک با عملکردهای صحرایی استفاده نموده است. توصیه‌های انجام شده به‌وسیله‌ی آزمایشگاه‌های A-D یا براساس فرضیه نگهداری است که نیازمند جایگزینی تمام عناصر غذایی برداشت‌شده به‌وسیله‌ی نبات یا براساس نیاز نگهداری نسبت مجموعه‌ی کاتیون‌ها($^{Mg}/_{K}$, $^{Ca}/_{K}$, $^{Ca}/_{Mg}$) بوده است. فرضیه سطح کفایت به‌طور آشکار نتایج باصرفه‌تری را در این آزمایش به‌دست آورد. بر اساس این آزمایش، و مقایسه با بسیاری از آزمایش‌های مشابه دیگر، اکثر آزمایشگاه‌های خاک‌شناسی راهیافت سطح کفایت را انتخاب کرده‌اند

[1]- North Platte
[2]- Cozad silt loam (Fluentic Haplustoll)

۱۹-۱۶ مدیریت عناصر غذایی در نقاط خاص

فناوری‌های رایانه‌ای اخیراً با نظام جایابی جهانی[1] (GPS) ماهواره‌های گزارشگر در دور زمین(بخش ۳-۱۹ را مطالعه کنید) برای مدیریت عناصر غذایی در نقاط خاص بیشتر از آن‌چه قبلاً در عملیات بزرگ مزرعه‌ای عملی بود تلفیق گردیده‌است. دریافت‌کننده‌های جی‌پی‌اس می‌توانند موقعیت دقیق هر محلی (در حدود ۵ تا ۱۰ متر) را با حرکت در عرض یک مزرعه بزرگ مشخص سازند. بنابراین، در نمونه‌برداری، موقعیت هر نمونه می‌تواند با توجه به جهت‌های شمال- جنوب و شرق - غرب در روی کره‌ی زمین مشخص گردد. در عمل یک مزرعه بزرگ به واحدهایی در یک نظام شبکه‌ای تقسیم می‌شود. هر جزء واحد معمولاً حدود یک هکتار وسعت دارد. بنابراین، ۲۰ نمونه جداگانه خاک موقعیت‌یابی شده در روی کره زمین (هرکدام نمونه مرکبی از حدود ۱۵ تا ۲۰ نمونه است) می‌تواند از یک زمین ۲۰ هکتاری برداشت شود (شکل ۳۳-۱۶). توصیه‌های مصرف کودی که از نتایج آزمون خاک همراه با دیگر اطلاعات به‌دست آمده‌اند می‌تواند با استفاده از برنامه‌های آماری رایانه‌ای برای تخمین محل مرزها در بین نقاط با درجات حاصلخیزی بالا، متوسط و پایین برروی یک نقشه ترسیم گردند. این نقشه حاصلخیزی خاک می‌تواند با نقشه سایر متغیرین مکانی مانند نقشه‌ی طبقه‌بندی خاک، سابقه‌ی مدیریت، رقم‌های زراعی(که قرار است کشت شوند) و غیره تلفیق گردد.

با استفاده از این نقشه‌ها و تجهیزاتی که دارای امکانات استعمال مقادیر مختلف کود در یک برنامه رایانه‌ای که در تلفیق با نظام ماهواره‌ای است، تغییر میزان مصرف کود به‌طور خودکار با حرکت کودپاش در مزرعه ممکن می‌گردد. سطحی از مزرعه که نشان‌دهنده‌ی مقادیر کم عناصر غذایی است، مقادیر کود بیشتری از حد متوسط استعمال کود دریافت داشته، درحالی‌که سطحی از مزرعه که دارای مقادیر زیاد عناصر غذایی است کود اندکی دریافت می‌دارد. مقدار کل کود به‌کار رفته خیلی با میزان مصرف در گذشته تفاوت ندارد اما مقادیر استعمال در ارتباط نزدیک‌تر با نیاز گیاهان و احتیاط‌های زیست‌محیطی می‌باشند.

هنگام برداشت محصول ارتباط‌های ماهواره‌ای رایانه‌ای مشابه برای نظارت عملکرد در بخش‌های مختلف مزرعه و ایجاد نقشه‌هایی که نشان‌دهنده‌ی تفاوت عملکردها است به‌کار می‌رود. با تلفیق نقشه‌ی عملکرد با نقشه‌ی عناصر غذایی خاک، امکان تعیین میزان محدودیتی که کمبود عناصر غذایی بر عملکرد اعمال می‌کنند فراهم می‌شود.

این نظام مدیریت عناصر غذایی در نقاط خاص مزرعه بخشی تلفیقی از آن‌چه به‌عنوان کشت‌وکار دقیق نامبرده می‌شود[2] می‌باشد. فرصت‌های مغتنمی برای مبارزه با حشرات و علف‌های هرز، و تغییر میزان و عمق بذر می‌تواند براساس نقاط خاص مزرعه، نه برپایه‌ی کل مزرعه، فراهم گردد. ممکن‌است چنین نظام‌های رایانه‌ای متکی به جی‌پی‌اس از نظر اقتصادی برای تمام زارعین مقرون‌به‌صرفه نباشد، اما استفاده از آن‌ها به‌خصوص در بین زارعینی که دارای امکان دست‌یابی به کارگزارانی با تخصص رایانه‌ای و تجهیزات مناسب می‌باشند درحال گسترش است. ممکن‌است کشت‌وکار دقیق کمک کند تا مطمئن شویم عناصر غذایی فقط در جایی مصرف می‌شوند که برای تولید محصولات مورد نیاز می‌باشند. جدول ۱۷-۱۶ برآوردهایی از سودهای اقتصادی که ممکن‌است با استفاده از مدیریت خاص محلی نیتروژن در زراعت ذرت در شهرستان‌های مختلف در ایالت ایوا، به‌دست آید، نشان می‌دهد. اکثر منافع از کاهش مقدار کل نیتروژن مصرف‌شده به‌دست خواهد آمد.

۲۰-۱۶ جنبه‌هایی گسترده‌تر از عملیات کوددادن

عملیات کوددادن شامل بسیاری از جزییات پیچیده در مورد خاک‌ها، گیاهان و کودها می‌باشد. به‌خاطر تفاوت زیاد این سه عامل در نقاط مختلف، مشکل است که به یک جمع‌بندی کلی در مورد استفاده از کود دسترسی یابیم. هرچند به‌خاطر چشم‌گیربودن عکس‌العمل در اکثر گیاهان غیرنیامدار و به‌خاطر کاربرد آن در کیفیت محیط زیست، در اکثر طرح‌های مصرف کود، توجه اولیه معمولاً بر نیتروژن متمرکز می‌گردد. استعمال فسفر و پتاسیم برای ایجاد تعادل و تکمیل عرضه‌ی نیتروژن چه از خاک، پس‌مانده‌های گیاهی(به‌خصوص نیامداران)، ضایعات آلی و یا دادن کودهای شیمیایی انجام می‌شود.

---

[1]- Global Positioning System (GPS)
[2] - Precision farming , Precise agriculture

چون برآورد توان تأمین نیتروژن یک خاک با انجام آزمایش‌های شیمیایی بسیار مشکل است، توصیه‌های کود شیمیایی نیتروژنی معمولاً براساس آزمایش‌های مزرعه‌ای می‌باشد، که رابطه‌ی بین نیتروژن اضافه‌شده و رشد گیاه و یا عملکرد آن را مشخص می‌کند معمولاً این مطالعات مزرعه‌ای در مقداری از خاک‌ها و در شرایط آب و هوایی (سبب می‌شود پاسخ نیتروژن در یک‌سال نسبت به سال دیگر بسیار متفاوت باشد) مختلف انجام می‌شود

جدول ۱۷-۱۶ افزایش درآمد برآوردشده‌ی زارع نسبت به هزینه‌های کود با استفاده از فناوری خاص محل در تولید ذرت در ۱۲ ناحیه‌ی ایالت ایوا و درصد افزایش ناشی از حذف کود اضافی و یا کودندادن کافی نیتروژن. مشخص نیست که آیا این افزایش درآمد برای جبران هزینه‌های این فناوری کافی است یا نه.

شهرستان	افزایش درآمد نسبت به هزینه کود $ در هکتار	درصد ناشی از حذف مصرف بیش از حد نیتروژن	درصد ناشی از کودندادن کافی نیتروژن
Adir	۱۸/۸۷	۹۳	۷
Black Hawk	۸/۶۹	۹۳	۷
Caroll	۱۰/۷۷	۷۰	۳۰
Henry	۸/۶۸	۹۳	۷
Honcock	۱۱/۴۸	۸۶	۱۴
Hamilton	۹/۸۸	۷۳	۲۷
Poweshick	۱۴/۳۵	۸۲	۱۸
Porlawattamie	۱۰/۸۷	۹۵	۵
Sioux	۹/۶	۸۶	۱۴
Story	۹/۰۲	۸۰	۲۰
Jones	۱۶/۹۷	۸۹	۱۱
Wright	۱۱/۰۲	۹۰	۱
کل ۱۲ ناحیه	۱۱/۲۸	۸۶	۱۴

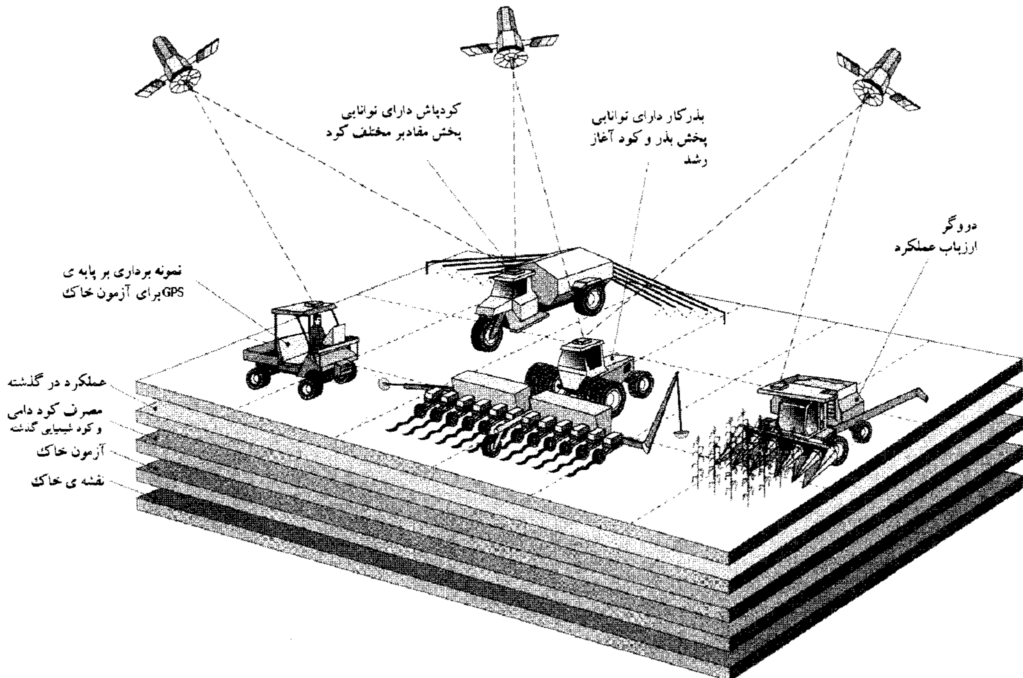
موجودی نیتروژن: با توجه به شکل منحنی عکس‌العمل و ملاحظات اقتصادی (مباحث زیر) سطح بهینه‌ی کود شیمیایی تعیین می‌شود. این میزان بهینه کود شیمیایی باید به‌وسیله‌ی مقادیر اضافه‌شده یا کاهش‌یافته که در منحنی عکس‌العمل استاندارد منظور نشده است تنظیم گردد. برای مثال، میزان نیتروژن فراهم‌شده به‌وسیله‌ی مصرف کود دامی قبل و یا کود دامی جدید(تابلو ۱-۱۶را مشاهده کنید)، گیاهان پوششی نیامدار و یا گیاه نیامدار قبلی موجود در تناوب باید از میزان کود سفارش شده کسر گردد (شکل۱۱-۱۶ را مشاهده کنید).

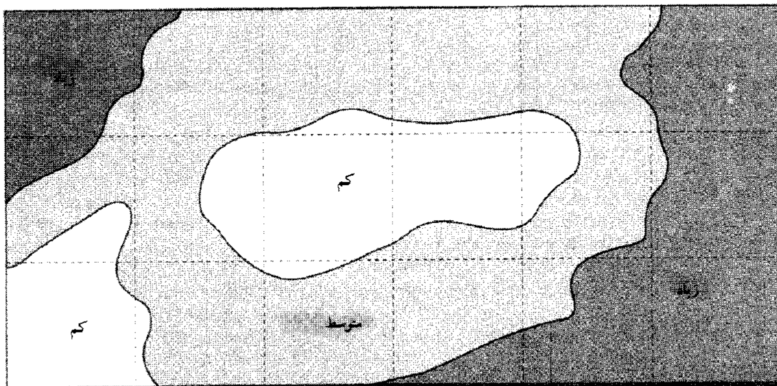
سودآوری :دومین جنبه در ارتباط با اقتصاد می‌باشد. زارعین کود شیمیایی را فقط برای محصولات درشت و یا بالابردن میزان عناصر غذایی خاک‌های خود مصرف نمی‌کنند آن‌ها این‌کار را برای تداوم زندگی خود انجام می‌دهند، درنتیجه هر نوع عملیات مصرف کود که برگشت اقتصادی نداشته باشد، دوام نخواهد یافت. در تولید محصولات بیشترین میزان کود سودآور به‌وسیله‌ی نسبت ارزش عملکرد اضافی قابل انتظار به قیمت کود مصرف شده به‌دست می‌آید. قانون کاهش[1] درآمد نیز در این‌جا صادق است، بنابراین، پرسودترین میزان مصرف کود مقداری کمتر از میزانی است که حداکثر محصول را تولید می‌کند (شکل۳۴-۱۶).

منحنی‌های عملکرد: فرض تجزیه و تحلیل اقتصادی سنتی میزان کود بهینه بر این است که عکس‌العمل نبات به‌وسیله‌ی یک منحنی هموار که از تابع درجه دوم پیروی می‌کند، معرفی می‌گردد. در واقع اطلاعات واقعی می‌توانند به‌وسیله‌ی تعدادی دیگر از

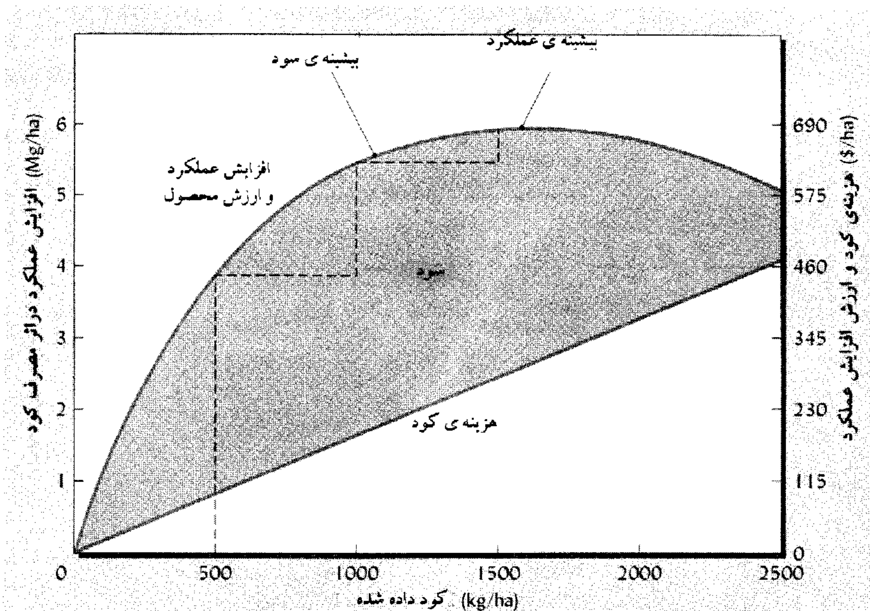
[1] - The law of diminishing returns

توابع ریاضی با همان خوبی تشریح گردند(شکل ۳۵-۱۶). این مشاهدات مبهم و مشکوک می‌توانند اثر بزرگی بر مقدار کود شیمیایی توصیه شده، و درنتیجه بر صدمات زیست‌محیطی از مصرف بیش از حد کود شیمیایی داشته باشند(شکل ۳۶-۱۶).

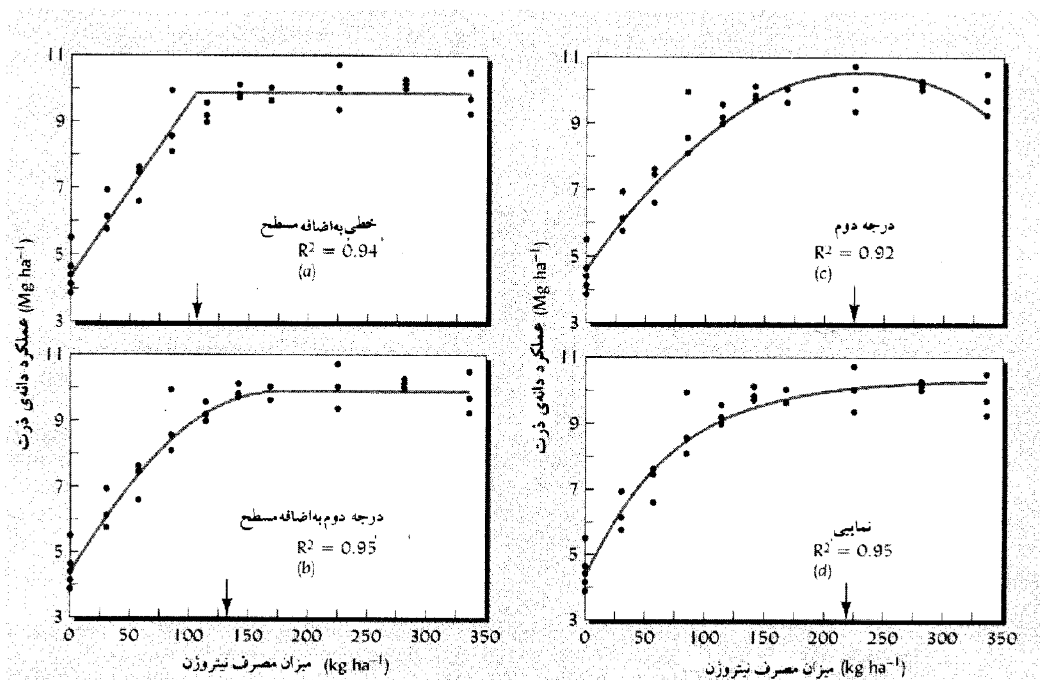




شکل۳۳-۱۶ (بالا)فناوری عصر فضا برای سهولت مدیریت نظام‌های مدیریت عناصر غذایی در نقاط خاص. ماهواره‌های در گردش به‌دور زمین و نرم‌افزارهای مناسب رایانه‌ای مبنای جایابی برروی کره‌ی زمین هستند(GPS)، که می‌تواند موقعیت بسیاری از نمونه‌های خاک و تولید نباتات را بر اساس نظام شبکه‌ای در داخل یک مزرعه ترسیم کند. یک نمونه خاک(مرکب از ۲۰ نمونه فرعی)از هر واحد(سلول)برداشت شده(حدود۱هکتار) و مورد تجزیه قرارمی‌گیرد. از روی اطلاعات تجزیه خاک رایانه‌ها می‌توانند نقشه‌هایی همانند نقشه در پایین شکل در ۱۸ هکتار برای تشریح وضعیت عناصر غذایی در بخش‌های مختلف مزرعه ایجاد کنند. نظام‌های رایانه‌ای/ ماهواره‌ای می‌توانند سپس برای استعمال کود شیمیایی در مقادیری که آزمون خاک و مدیریت قبلی مزرعه مشخص می‌سازند در نقاط مختلف مزرعه مورد استفاده قرار گیرند. هنگام برداشت محصول ارتباطات مشابه رایانه/ ماهواره امکان نظارت بر میزان عملکرد را در همان مبنای شبکه‌ای هنگام عبور ماشین برداشت در مزرعه ممکن می‌سازد. اطلاعات عملکرد برای ایجاد نقشه‌ی عملکرد به‌کار می‌رود، که بعداً می‌تواند برای اصلاح مدیریت عناصر غذایی به‌کار روند.

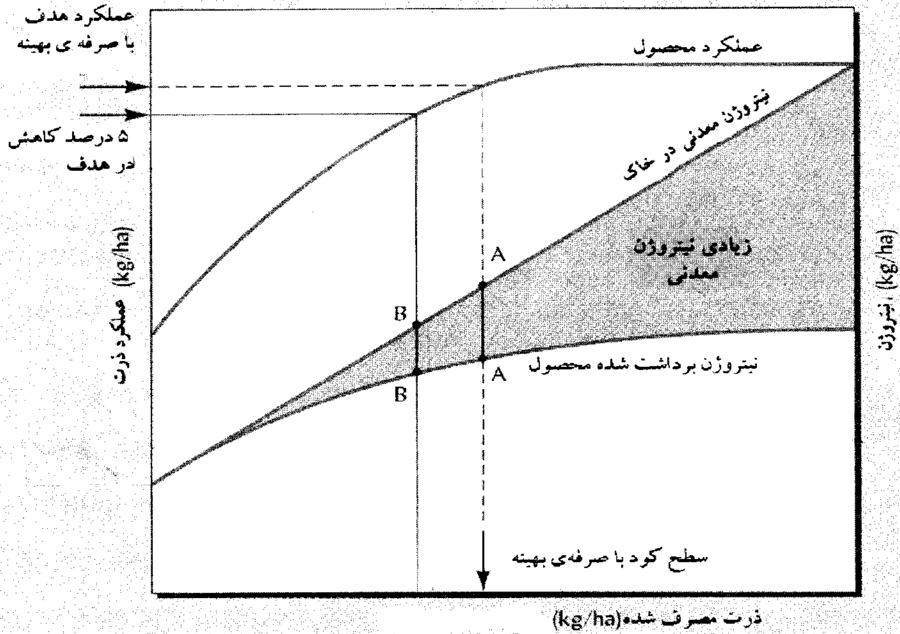


شکل۳۴-۱۶ رابطه‌ی میزان کود مصرف شده، افزایش عملکرد نبات، هزینه‌های کود و سود حاصل از دادن کود. توجه داشته باشید که افزایش عملکرد(و سود)در اولین۵۰۰ کیلوگرم مصرف شده بسیار بیشتر از دومین و سومین ۵۰۰ کیلوگرم مصرف شده می‌باشد. همچنین توجه کنید که حداکثر سود در میزان کود کمتر از آن‌چه سبب حداکثر عملکرد می‌باشد، حاصل شده است. فرض محاسبات بر این است که پاسخ عملکرد به کود اضافه‌شده از یک تابع هموار درجه دوم تبعیت می‌کند



شکل ۳۵-۱۶ مثالی از این‌که چگونه توابع ریاضی انتخاب شده برای اطلاعات عملکرد – کود بر میزان کود توصیه شده مؤثر می‌باشند. داده‌ها در هر ۴ منحنی دقیقاً یکی بوده و بیانگر عکس‌العمل ذرت در ایالت ایوا به افزایش میزان کود نیتروژنی می‌باشد. پیکان‌های قائم تعیین‌کننده میزان نیتروژن توصیه‌شده با حداکثر سود در هر مدل ریاضی می‌باشد. توجه کنید که تمام مدل‌ها تناسب خوبی با داده‌ها دارند (R^2 بسیار مشابه). اما مدل خطی به انضمام مدل مسطح مقدار نیتروژن بهینه را ۱۰۴ کیلوگرم در هکتار برآورد کرده است، درحالی‌که مدل درجه ۲ استانداردرقم۲۲۲ کیلوگرم در هکتار را پیشنهاد کرده است. ظاهراً ممکن‌است این ۱۱۸ کیلوگرم نیتروژن اضافی برروی عملکرد تأثیری نداشته باشد، اماً ممکن‌است خطر صدمات زیست‌محیطی را به مقدار زیادی افزایش دهد.

هرکس که در ارتباط واقعی با تولید نبات باشد می‌تواند به پیشرفت‌های عظیمی که براثر استفاده عاقلانه از مواد مکمل آلـی و غیرآلی حاصل شده است گواهی دهد. بحث قبلی به این معنی نبود که این مواد مکمل مورد نیاز نیست، بلکه حاکی از این است که تعیین سطح بهینه‌ی آن‌ها با دقت مشکل می‌باشد.



شکل۳۶-۱۶ تأثیر مقدار کود نیتروژنی مصرف شده بر عملکرد ذرت، نیتروژن برداشت‌شده در محصول نهایی و مقدار نیتروژن غیرالی اضافی دارای توان هدررفت در محیط. خطوط نازک بیانگر کاهش اندک(۵٪)در عملکرد بهینه مورد نظر است که سبب کاهش عمده‌ای (۳۰درصد)در توان آلودگی نیتروژن خواهد شد. خط A-A بیانگر نیتروژن اضافی موجود وقتی که کود به میزان لازم برای رسیدن به عملکرد اقتصادی بهینه مصرف شده است. خط B-B بیانگر نیتروژن اضافی در صورت کاهش عملکرد بهینه به مقدار ۵ درصد است. متأسفانه در بسیاری از موارد، ممکن‌است کاهش ۵ درصد سبب کاهش سود با درصد به مراتب بیشتری گردد.

۲۱-۱۶ نتیجه‌گیری نهایی

تداوم قابلیت استفاده عناصر غذایی برای پایداری اکثر بوم‌سامان‌ها لازم است. چالش‌های مدیریت عناصر غـذایی سـه‌جانبـه است: (۱)تأمین عناصر لازم برای گیاهان در بوم‌سامان؛ (۲)اطمینان از این‌که نهاده‌ها در تعادل با تغذیه عناصر به‌وسیله‌ی نبات بـوده و بنابراین، سبب حفظ منابع عناصر غذایی می‌باشد؛ (۳)ممانعت از آلودگی محیط زیست به‌وسیله‌ی عناصر غذایی مصرف‌نشده.

بازچرخ عناصر غذایی باید توجه نخست را در هر نظام مدیریتی بوم‌شناختی سالم به‌خود معطوف دارد. این هدف تا حـدی بـا برگشت‌دادن پس‌مانده‌های گیاهی به خاک انجام می‌شود. این پس‌مانده‌های گیاهی می‌توانند با مصرف عاقلانه ضایعات آلی کـه بـه مقدار زیادی براثر فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و شهری در سرتاسر جهان تولید می‌شوند همراه گردند. استفاده از نباتات پوششی، که اختصاصاً برای برگشت به خاک کشت می‌شوند یک وسیله‌ی دیگر آلی برای بازچرخ عناصر است.

در مناطقی که محصولات زراعی و یا جنگلی برداشت می‌گردند، هدررفت عناصر غذایی معمولاً از مقدار بازچرخ بیشتر اسـت. مصرف کودهای شیمیایی برای تکمیل بازچرخ طبیعی و مدیریت شده برای جایگزینی این هدررفت‌ها، و افزایش حاصلخیزی خاک تداوم دارد، که نه‌تنها سبب بقای انسان بلکه شکوفایی تمدن انسانی برروی کره‌ی زمین می‌باشـد. در منـاطق گسـترده‌ای در کـره‌ی

زمین، برای جلوگیری از تخریب خاک و بوم‌سامان و امکان تولید سودآور، میزان مصرف کود شیمیایی باید از آن‌چه درحال حاضر مصرف می‌شود بیشتر گردد.

استفاده از کودهای شیمیایی آلی و غیرآلی نباید به‌طور ساده برحسب عادت، و یا برای تضمین هدف موردنظر انجام گیرد، بلکه آزمون خاک و سایر ابزارهای تشخیصی باید برای تعیین نیاز واقعی مصرف عناصر غذایی به‌کار گرفته شوند. وقتی خاک‌ها از نظر عناصر غذایی قابل‌استفاده فقیر باشند، کودهای شیمیایی معمولاً در هر دلار، چندین دلار اضافه محصول خواهند داشت، هرچند اگر توان تأمین عناصر غذایی خاک از قبل بالا باشد، اضافه‌کردن کود شیمیایی احتمالاً سبب بروز خساراتی در صرفه‌ی اقتصادی و محیط‌زیست خواهد بود.

سووالات برای مطالعه

۱- آب زیرزمینی در زیر یک مزرعه که شدیداً کودخورده است دارای نیترات زیادی می‌باشد، اما با رسیدن به یک رودخانه میزان نیترات به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد توضیح شما در این باره چیست؟

۲- آزمون نیترات ساقه ذرت هنگام برداشت به زارع نشان می‌دهد که خاک دارای مقادیر زیادی نیترات مصرف نشده است. برای به‌حداقل‌رساندن آبشویی نیترات زارع می‌خواهد یک گیاه پوششی بکارد شما گیاه نیامدار یا غیرنیامدار پیشنهاد می‌کنید؟ چرا؟

۳- میزان نیترات حاصل از آبشویی و یا رواناب جنگل معمولاً خیلی پایین است. چه عملیات مدیریتی در مناطق جنگلی سبب هدررفت نیترات زیادی می‌شود و چگونه می‌توان از این تلفات جلوگیری کرد؟

۴- آتش‌سوزی‌های جنگل بر قابل‌استفاده‌بودن عناصر و سمیت آن‌ها چه تأثیری دارند؟

۵- منابع عمده‌ی اولیه‌ی موادی که از آن‌ها کودهای شیمیایی N،P،K تشکیل می‌شوند، چه می‌باشند. چه فرایندهایی برای بالابردن قابلیت استفاده‌ی آن‌ها برای جذب گیاهان به‌کار می‌رود؟

۶- چرا گفته می‌شود مایع آمونیاک مهم‌ترین کود شیمیایی حامل نیتروژن است؟

۷- عمده‌ترین اشکال فیزیکی کود شیمیایی که امروزه به فروش می‌رسند، چیست و چگونه مقادیر نسبی مصرف آن‌ها در نوع و مقدار کودهای مصرف شده مؤثر است؟

۸- به‌طور سنتی، کود دامی را که دارای بالاترین فایده در حفظ کیفیت خاک می‌دانند، امروزه در بسیاری از موارد بی‌فایده است موضوع را تشریح کرده و راه‌هایی برای تخفیف مسأله معرفی کنید.

۹- مفهوم عامل محدودکننده را مورد بحث قرار داده و اهمیت آن‌را در ارتقای و یا محدودیت عملکرد بیان کنید.

۱۰- چرا مسایل چرخه‌ی عناصر در نظام‌های کشاورزی بسیار برجسته‌تر از مناطق جنگلی می‌باشند؟

۱۱- چگونه ماهواره‌ها در مدار زمین و رایانه‌ها برای اطمینان بیشتر از مصرف کود در مقادیری که با نیاز گیاه مطابقت دارد مورد استفاده قرار می‌گیرند؟

۱۲- ارزش و محدودیت‌های آزمون خاک را به‌عنوان شاخصی از نیازهای غذایی گیاهان مورد بحث قرار دهید.

باد خاک قهوه‌ای را پنهانی در می‌نوردد
تی.اس الیوت زمین بایر

فصل ۱۷
فرسایش خاک و مهار آن

هیچ پدیده‌ی خاکی در مقیاس جهانی مخرب‌تر از فرسایش ناشی از باد و آب نیست. از روزگاران ماقبل تاریخ بشر زخم تازیانه‌ی فرسایش خاک را بر پیکر خود به‌همراه داشته و از پیامدهای آن یعنی سوءتغذیه و گرسنگی رنج می‌برد. تمدن‌های باستانی با شسته‌شدن خاک‌های آن‌ها که زمانی عمیق و حاصلخیز بود و با به‌جای‌گذاشتن تپه‌های غیرحاصلخیز صخره‌ای دچار فروپاشی شدند. با مشاهده‌ی تپه‌های بایر در هندوستان مرکزی و یا بخش‌های از یونان، لبنان و سوریه، تصور این امر مشکل است که زمانی در این مناطق جوامع کشاورزی دارای شکوفایی بودند.

تهدید فرسایش خاک امروزه، بسیار شوم‌تر از هر زمان دیگر در تاریخ می‌باشد. در نسل امروز، زارعین مجبور شده‌اند تولید محصولات غذایی را برای رفع نیازهای افزایش بی‌سابقه جمعیت، بیش از ۲ برابر برسانند. در کشورهای کم‌درآمد نسبت جمعیت به اراضی زراعی قابل‌استفاده که از قبل نیز بسیار بالا بوده درحال افزایش است. درحالی‌که کشت‌وکار در اراضی حاصلخیز مسطح تمرکزیافته، و در تأمین بیشتر غذای مورد نیاز کمک کرده است، بسیاری از ملت‌ها مجبورند که سطح اراضی زیرکشت خود را توسعه داده و به سوزاندن و جنگل‌تراشی در شیب‌های تند و شخم‌زدن مراتع اقدام کنند. فشار جمعیت همچنین سبب چرای بی‌رویه‌ی دام‌ها در مراتع و استخراج بیش از حد منابع چوب گردیده است. تمام این فعالیت‌ها سبب تخریب و یا حذف پوشش گیاهی، و درمعرض قرارگرفتن هرچه بیشتر خاک حساس زیرین این مناطق به فرسایش می‌شود. حاصل چرخه‌ی شیطانی تخریب و یا تنزل کیفیت اراضی است، تخریب سبب کم‌شدن محصول، فقر انسانی، و کاهش پوشش گیاهی در روی خاک است، که به‌نوبه‌ی خود سبب فرسایش پرشتاب شده و عده‌ی بیشتری از مردم نیازمند را به قطع اشجار، شخم و تخریب اراضی وادار می‌سازد.

تنزل توان تولید مزارع، جنگل‌ها و مراتع فقط بخشی از داستان تأسف‌بار فرسایش را بازگو می‌کند. ذرات خاک شسته شده و یا باد رفته از مناطق فرسایشی بعداً در جای دیگر مانند اراضی پست مجاور، رودخانه‌ها و نهرها و یا در مخازن و لنگرگاه‌های پایین‌دست ترسیب خواهند یافت. خسارت زیست‌محیطی و اقتصادی در مناطقی که مواد خاکی فرسایش‌یافته در آن ترسیب می‌یابد، ممکن‌است به‌اندازه‌ی مناطق فرسایشی که خاک از آن‌ها جدا شده است بوده و یا از آن‌ها بیشتر باشد. مواد خاکی جابه‌جا شده (رسوب و گردوغبار) سبب بروز مسایل آلودگی آب و هوا شده و هزینه‌های سنگین اقتصادی و اجتماعی را در جامعه به‌دنبال خواهد داشت.

فرسایش خاک در ارتباط با زندگی همه است. خوشبختانه دهه‌های اخیر پیشرفت‌های زیادی را در فهم سازوکار فرسایش و ابداع روش‌هایی که می‌توانند به‌طور مؤثر و توجیه‌پذیر از جنبه‌ی اقتصادی هدررفت خاک را در اکثر موارد مهار کنند، شاهد بوده است. این فصل شما را به بعضی از مفاهیم و ابزارهایی مجهز می‌کند که به آن‌ها نیاز دارید تا نقش خود را در این مسأله که جهان را در تنگنا قرار داده است، ایفاء کنید.

۱-۱۷ اهمیت فرسایش خاک و تخریب اراضی

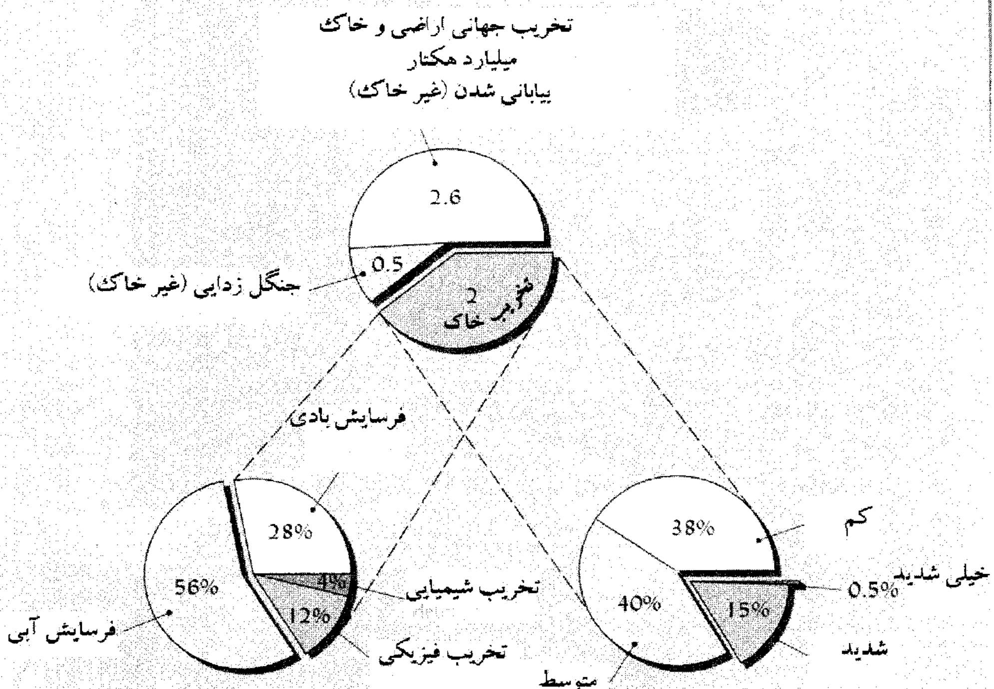
تخریب اراضی

طی نیم‌قرن گذشته، کاربری اراضی به‌وسیله‌ی انسان‌ها و فعالیت‌های وابسته سبب تخریب حدود ۵ میلیارد هکتار (حدود ۴۳ درصد اراضی دارای پوشش گیاهی) اراضی شده است. چنین تخریب اراضی سبب کاهش توان تولیدی و ظرفیت پایین در ایجاد منافع برای انسانیت شده است. بیشترین تخریب(حدود ۲/۶ میلیارددرهکتار) در ارتباط با بیابانی‌شدن می‌باشد، که سبب توسعه‌ی شرایط بیابانی و نابودی بوم‌سامان‌های خشک و نیمه‌خشک (از جمله بوم‌سامان کشاورزی) گردیده است. علت عمده‌ی بیابانی‌شدن چرای بیش‌ازحد گله‌های گاو، گوسفند و بز می‌باشد. عاملی که به‌نظرمی‌رسد حدود ثلث کل تخریب اراضی را، به‌خصوص در مناطق خشک، مانند ساحل در شمال آفریقا و چراگاه‌های

جنوب غرب آمریکا شامل گردد. مشابه با این، قطع یک‌جای درختان جنگل‌های بارانی است که اخیراً سبب تخریب ۵۰۰ میلیون هکتار از اراضی گرم مرطوب شده است. به‌علاوه عملیات کشاورزی نامناسب همچنان به تخریب اراضی در تمام مناطق اقلیمی مبادرت دارد.

وابستگی متقابل خاک و پوشش گیاهی: ممکن‌است اراضی تخریب‌یافته با نابودی جوامع گیاهی بومی، عملکرد پایین محصولات کشاورزی، تولید پایین دام و یکنواخت‌شدن بوم‌سامان‌های متنوع طبیعی مواجه باشد. در حدود ۲ میلیارد از ۵ میلیارد اراضی تخریب‌شده در جهان تخریب خاک عمدتاً به‌خاطر تخریب خصوصیات فیزیکی در اثر تراکم و سله‌بستن، (بخش‌های ٥-٤ و ٨-٤ را مشاهده کنید) و یا تخریب خصوصیات شیمیایی براثر اسیدی‌شدن (بخش ٦-٩ را مشاهده کنید) و یا تراکم نمک(بخش ۳-۱۰ را مشاهده کنید) صورت می‌گیرد (شکل ۱-۱۷). هرچند حدود ۸۵ درصد تخریب خاک ناشی از فرسایش و عوامل تخریبی آن عمدتاً[1] آب و باد است.

دو جزء عمده‌ی تخریب اراضی یعنی خسارات وارده به جوامع گیاهی و تخریب خاک، جدا از هم نیستند بلکه آن‌ها برهم‌کنش داشته و سبب تخریب شتابی (تسریعی) نزولی مارپیچی حلزونی خواهد شد (شکل ۲-۱۷). به‌خاطر چرای بیش‌ازحد، نابودی جنگل و سایر روش‌های نامناسب تولید نباتات پوشش گیاهی تراکم و توان کمتری داشته، و بنابراین، سبب می‌شود از خاک حفاظت هرچه کمتری درمقابل فرسایش به‌عمل آید. همزمان با تخریب خاک براثر فرایندهای فرسایش و تخلیه‌ی عناصر غذایی، حفظ تاج‌پوشش گیاهی محافظ به‌مراتب کمتر می‌شود. تخریب خاک ازطریق اثرات آن در رواناب و میزان نفوذ آب باران سبب تضعیف پوشش گیاهان می‌شود. با هدررفت ۵۰ تا ٦۰درصد باران به‌صورت رواناب، کمبود آب خاک در اراضی فرسایش‌یافته می‌تواند عامل عمده در توقف رشد نبات باشد، بهبود در مدیریت خاک و پوشش گیاهی برای حفظ توان تولید اراضی باید باهم انجام گیرد، تا در تخریب حلزونی به‌جای سیر نزولی سیر صعودی داشته باشیم.



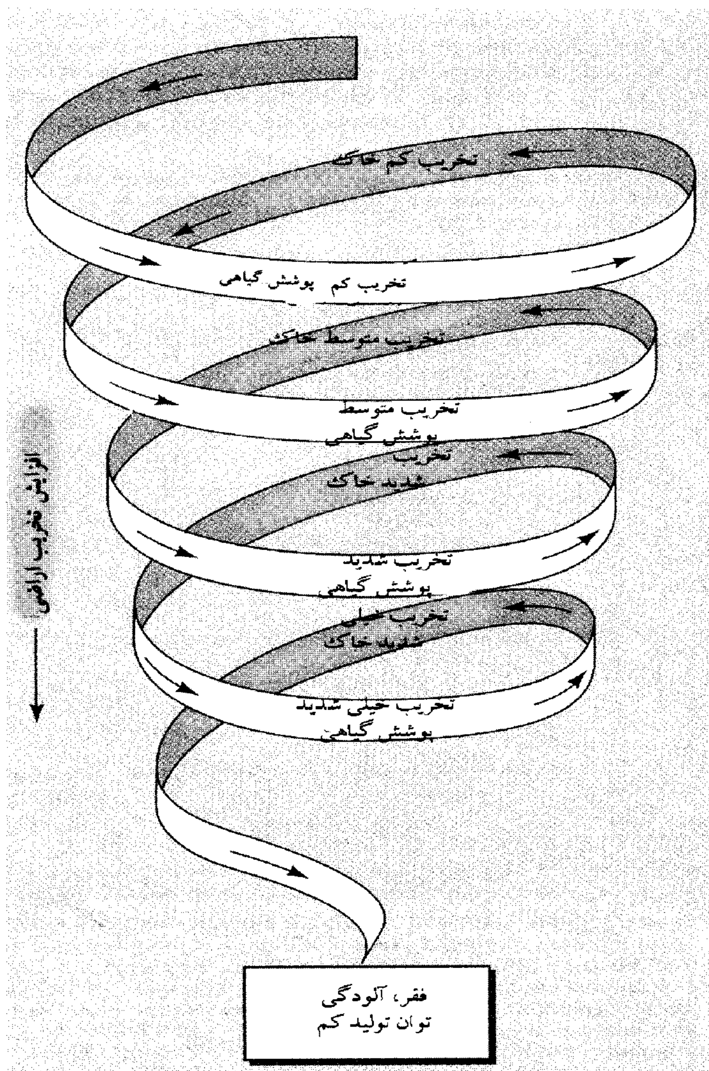
شکل ۱-۱۷ تخریب خاک و اراضی در مقیاس جهانی. تخریب خاک به‌عنوان بخشی از تخریب اراضی در مقیاس جهانی که براثر چرای بیش از حد، نابودشدن جنگل، عملیات نامناسب کشاورزی، برداشت بیش‌ازحد هیزم برای سوخت و سایر فعالیت‌های انسانی می‌باشد. حدود ٦۰ درصد اراضی تخریب شده دچار تخریب خاک نیستند. از ۲ میلیارد هکتار از اراضی با خاک‌های تخریب شده اکثر آن‌ها به آسانی (تخریب کم) و یا با صرف هزینه‌های مالی و فنی قابل‌ملاحظه‌ای (تخریب متوسط) می‌توانند حفاظت گردند. خاک‌هایی با تخریب شدید درحال حاضر برای کشاورزی بی‌استفاده بوده و نیازمند همکاری بین المللی برای نگهداری آن‌ها می‌باشیم. حدود ۹ میلیون هکتار (۰/۵ درصد خاک‌های تخریب‌یافته) خیلی شدید تخریب یافته و قابل‌مرمت نیستند. حدود ۸۵ درصد تخریب خاک از فرسایش آبی و بادی ناشی می‌شود.

---

[1]- عوامل دیگر فرسایش به‌خصوص نیروی ثقل در فرسایش طبیعی و شتابی و عملیات خاک‌ورزی در جابه‌جایی و انتقال خاک در بعضی از موارد از اهمیت خاص برخوردارند. برای نمونه نقش عملیات خاک‌ورزی در اراضی شیب‌دار دیم با بارندگی‌های آرام از فرسایش آبی به‌مراتب بیشتر است

فرسایش زمین‌شناسی درمقایسه با فرسایش شتابی (تسریعی)

فرسایش زمین‌شناسی: فرسایش فرایندی است که سبب تبدیل خاک به رسوب می‌شود فرسایش خاک که به‌طور طبیعی بدون تأثیر فعالیت‌های انسانی وقوع می‌یابد، فرسایش زمین‌شناسی نامیده می‌شود. این نوع فرسایش یک فرایند هموارکننده‌ی زمین است این فرایند بدون‌وقفه سبب فرسایش تپه‌ها و کوه‌ها گردیده و طی ترسیب بعدی رسوبات فرسایش‌یافته دره‌ها، دریاچه‌ها و خلیج‌ها را پر می‌کند. بسیاری از اشکال اراضی که در اطراف خود مشاهده می‌کنیم مانند ژرف‌دره‌ها[1]، تپه‌های منفرد، تپه‌های گردشده، دره‌های رودخانه‌ای، مصب‌ها، دشت‌ها و دشت‌های دامنه‌ای از اثرات فرسایش و رسوب زمین‌شناسی می‌باشند، رسوبات گسترده‌ای که اکنون به‌صورت سنگ‌های رسوبی مشاهده می‌شوند از این راه ایجاد شده‌اند.



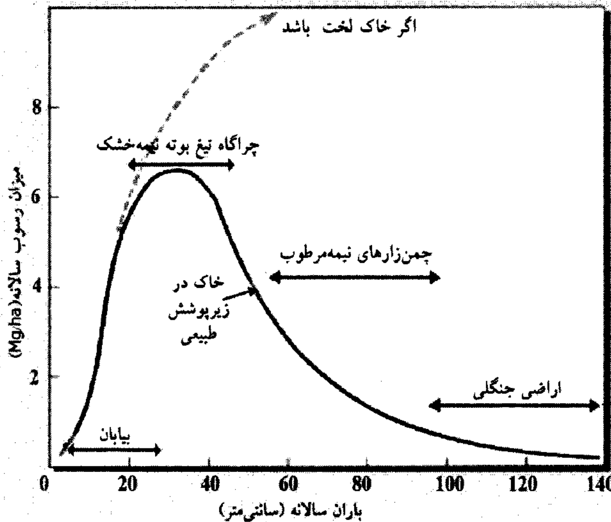
شکل ۲-۱۷ تخریب اراضی به شکل حلزونی نزولی براثر تعامل تخریب خاک و پوشش گیاهی

در اکثر موارد، فرسایش زمین‌شناسی اراضی را چنان به آرامی می‌فرساید که خاک جدید از مواد زیرین سریع‌تر از نرخ هدررفت خاک قدیم در سطح ایجاد می‌گردد. وجود این همه خاکرخ شاهدی بر خالص تجمع خاک و تأثیر پوشش گیاهی تخریب‌نیافته در محافظت سطح از فرسایش است.

میزان فرسایش زمین‌شناسی در ارتباط با بارندگی و نوع موادی که رگولیت خاک را تشکیل می‌دهند متغیر می‌باشد. فرسایش آبی زمین‌شناسی در مناطق نیمه‌خشک که میزان شدت بارندگی برای ایجاد خسارت کافی اما مقدار سالانه‌ی آن چنان زیاد نیست که بتواند

[1] - Canyons

پوشش متراکم را ایجاد کند (شکل ۳-۱۷) در حداکثر مقدار خود می‌باشد. ممکن‌است مناطقی که به‌وسیله‌ی رسوبات عمیق لای پوشیده شده‌اند به‌طور استثنایی دارای مقادیر بالای فرسایش باشند. چشم‌انداز اراضی آبکندی و تخریب‌یافته در اراضی هزاردره‌ی شمال آمریکا (شکل ٤-۱۷) یک نمونه شدید از فرسایش زمین‌شناسی است و هنگامی روی می‌دهد که رسوبات رس ناپایدار و لای در معرض بارش‌های شدید اما کم‌تعداد قرار گیرند. در این مناطق خاک معمولاً چنان خشک است (علت آن تاحدی مربوط به هدررفت بالای رواناب است) که نمی‌تواند پوشش گیاهی زیادی در روی خاک باقی بگذارد.



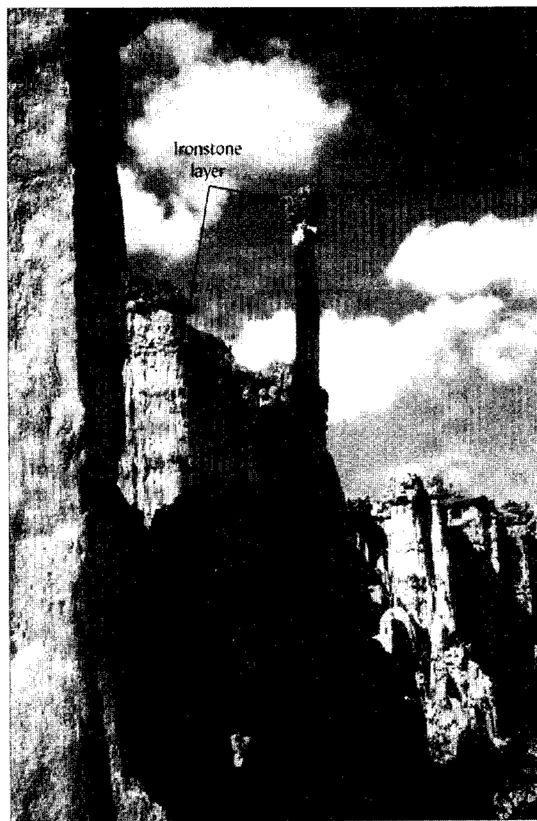
شکل ۳-۱۷ رابطه‌ی کلی بین بارندگی سالانه و فرسایش زمین‌شناسی آبی. میزان رسوب واقعی که هرسال در هکتار ازدست می‌رود وابسته به سایر متغیرهای اقلیمی، پستی و بلندی و نوع خاک در حوزه می‌باشد. توجه کنید که میزان رسوب در مناطق نیمه‌خشک بیشترین می‌باشد. در این مناطق تعدادی از رگبارهای شدید تولیدکننده‌ی هرزآب در اکثر سال‌ها روی می‌دهد، اما کل بارندگی برای ایجاد پوشش گیاهی محافظ بسیار اندک است. درمقایسه، بیابان‌های خیلی خشک دارای باران بسیار کمی برای فرسایش زیاد می‌باشند. مناطق پرباران سبب ایجاد جنگل‌های متراکم می‌شوند که به‌طور مؤثر خاک را حفظ می‌کنند. وقتی پوشش طبیعی براثر شخم از بین می‌رود، فرسایش خاک لخت با افزایش بارندگی همان‌طورکه با خط بریده نشان داده شده، بسیار بالاتر است.

بار رسوبات: بارندگی، زمین‌شناسی و سایر عوامل ازجمله فعالیت‌های انسانی در میزان بار رسوب که به‌وسیله‌ی رودهای بزرگ جهان انتقال می‌یابند مؤثر می‌باشند (جدول ۱-۱۷). اگرچه رودخانه‌هایی مانند می‌سی‌سی‌پی و یانگ‌تسه قبل از آن‌که آدمیزاد حوزه آبخیز آن‌ها را ویران کند، گل‌آلوده بوده‌اند. بار رسوبات فعلی از سابق بسیار بیشتر می‌باشد. برای تجسم حجم خاک انتقال‌یافته به دریا به بار رسوبات می‌سی‌سی‌پی (فقط ۵/۱ یانگ‌تسه و گنک می‌باشد) توجه کنید. اگر قرار باشد ۳۰۰ میلیون مترمکعب رسوب به‌وسیله‌ی کامیون‌های بارکش به خلیج مکزیکو انتقال یابد، نیازمند کاروانی مرکب از ۸۰ هزار کامیون می‌باشد که به‌طور مداوم در طول سال در تمام مسیر ویسکانسین تا نیواورلئان (۱۶۰۰ کیلومتر) در رفت‌وآمد، باشند به‌طوری‌که در هرثانیه ٤۰ تن بار رسوبات را به‌داخل خلیج مکزیکو خالی کنند.

فرسایش شتابی (تسریعی): فرسایش شتابی وقتی صورت می‌گیرد که مردم خاک طبیعی و یا پوشش گیاهی طبیعی را به‌وسیله‌ی چرای احشام، بریدن جنگل‌ها، شخم دامنه تپه‌ها و یا به‌هم‌زدن اراضی برای ایجاد جاده‌ها و ساختمان‌ها مورد تهاجم قرار داده باشند. فرسایش تسریعی از ۱۰ تا هزار بار از فرسایش زمین‌شناسی، به‌خصوص در اراضی شیب‌دار و در مناطق با بارندگی شدید مخرب‌تر می‌باشند. میزان فرسایش براثر باد و آب در اراضی کشاورزی در آفریقا و آسیا و آمریکای جنوبی به‌طور متوسط سالانه حدود ۳۰ تا ٤۰ تن‌درهکتار برآورد شده است. در ایالات متحده‌ی آمریکا میزان متوسط فرسایش در اراضی زراعی حدود ۱۲ تن‌درهکتار است که ۷ تن آن فرسایش آبی و ۵ تن آن فرسایش بادی می‌باشد. اگرچه در بعضی از اراضی میزان فرسایش ۱۰ برابر میزان متوسط است. درمقایسه میزان فرسایش در علف‌زارها و یا جنگل‌های دست‌نخورده مناطق مرطوب معمولاً کمتر از ۰/۱ تن در سال است.

سالانه حدود ٤ میلیارد تن خاک در آمریکا به‌وسیله‌ی فرسایش جابه‌جا می‌شوند که ۳/۲ آن‌ها به‌وسیله‌ی آب و ۳/۱ دیگر به‌وسیله‌ی باد می‌باشد. بیشتر از نصف آن‌چه به‌وسیله‌ی آب و بیشتر از ٦۰٪ آن‌چه به‌وسیله‌ی باد جابه‌جا می‌شوند در اراضی زراعی صورت می‌گیرد که اعظم غذای کشور را تأمین می‌کنند. بقیه خاک جابه‌جا شده عمدتاً از مراتع نیمه‌مرطوب، جاده‌سازی، برداشت الوار از جنگل‌ها، و از خاک‌هایی که برای ایجاد شاهراه‌ها و ساختمان مورد تهاجم قرار گرفته‌اند، حاصل می‌شود. هرچند پیشرفت‌هایی در کاهش فرسایش حاصل شده است، میزان هدررفت بالای کنونی برای پایداری درازمدت تولید قابل‌قبول نبوده و باید بیشتر کاهش یابد (بخش ۴-۱۷ را مشاهده کنید).





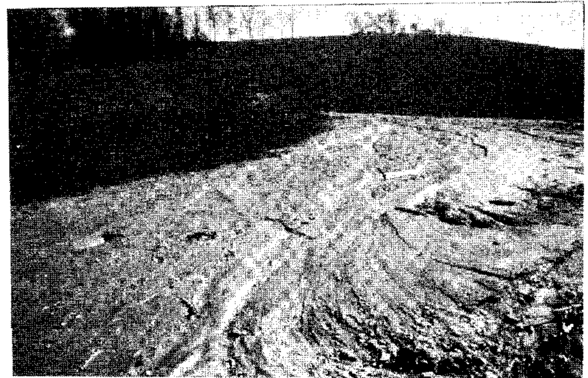
شکل ۴-۱۷ اثر فرسایش زمین‌شناسی و رسوب‌گذاری همان‌طورکه در منظره‌ی اراضی بدلند در داکوتای شمالی (سمت چپ عکس) دیده می‌شود می‌تواند سهمناک باشد. پوشش اندکی برای حفظ این کوه‌ها از تاراج رگبارهای رعدآسای ناگهانی تابستانی وجود دارد. به الوار دفن‌شده در خاک (با پیکان نشان داده شده است) توجه کنید که براثر فرسایش کوه در قسمت جلو عکس آشکار شده است، وجود آن بیانگر لایه‌های عمیق رسوب رسی در این محل است که از زمان‌های قدیم طی چرخه‌ی فرسایش- رسوب ترسیب شده است. (سمت راست) فرسایش خندقی شدید در منطقه‌ای در تانزانیای مرکزی روشن‌گر قدرت برشی آب متلاطم است که جریان آن احتمالاً براثر جنگل‌تراشی حوزه‌های اطراف تشدید شده است. منظره همچنین اهمیت قطرات باران را در جداساختن ذرات خاک مشخص می‌سازد به دودکش‌های باقی‌مانده بلند نازک خاک که وقتی یک لایه سنگ مانند سنگ آهن مواد نرم خاکی زیری را از برخورد قطرات باران محفوظ داشته است توجه کنید (آنرا با دودکش‌های کوچک‌تر در عکس ۹-۱۷ مقایسه کنید).

جدول ۱-۱۷ بار رسوب سالانه برای ۹ رود عمده‌ی دنیا، از جمله می‌سی‌سی‌پی

نام رود	کشور	با رسوب سالانه میلیون تن	فرسایش متوسط سالانه، تن در هکتار
یانگ‌تسه	چین	۱۶۰۰	۴۷۹
گنگ	هندوستان، نپال	۱۴۵۵	۲۷۰
آمازون	برزیل، و غیره	۳۶۳	۱۳
می‌سی‌سی‌پی	آمریکا	۳۰۰	۹۳
ایراوادی	برمه	۲۹۹	۱۳۹
کوسی	هندوستان، نپال	۱۷۲	۵۵۵
مکنگ	ویتنام، تایلند، و غیره	۱۷۰	۴۳
سرخ	چین، ویتنام	۱۳۰	۲۱۷
نیل	سودان، مصر، و غیره	۱۱۱	۸

بر اثر فرسایش شتابی خاک معمولاً سریع‌تر از آن‌چه به‌وسیله‌ی هوادیدگی و ترسیب ایجاد می‌گردد با آب شسته شده و یا با بادرفته می‌شود. بنابراین، عمق خاک مناسب برای انتشار ریشه اغلب کاهش می‌یابد. ممکن‌است در موارد شدید اراضی با شیب آرام به‌وسیله‌ی آبکندهای عمیق به هزاردره‌ها تبدیل شده، و اراضی دامنه‌ای با پوشش جنگلی دراثر فرسایش تا رسیدن به لایه سنگی از پوشش عاری شوند.

فرسایش تسریعی باعث می‌شود که خاک دارای یک چشم‌انداز ناهمگون گردد. مثالی از این ناهمگونی وقتی صورت می‌پذیرد که علف‌زارهای مناطق نیمه‌خشک، بیش‌ازحد چراشده به بوم‌سامان بوته‌زار تبدیل گردد. طی این تخریب جزایر حاصلخیز در زیر بوته‌ها ایجاد شده درحالی‌که خاک بین بوته‌ها به‌طور مداوم کم‌عمق و غیرحاصلخیز می‌گردد. نمونه‌ی دیگری از این ناهمگونی تفاوت بسیار مشهودی است که بین رنگ خاک‌های واقع در بالای شیب چشم‌انداز و با طبقات B وC آشکار شده در سطح به‌وسیله‌ی فرسایش با خاک‌های پایین‌دست غنی از ماده‌ی آلی ترسیب یافته وجود دارد (شکل ۵-۱۷).





شکل۵-۱۷ فرسایش و رسوب‌گذاری در یک زمین‌نما همزمان صورت می‌گیرد.(چپ) خاک در قسمت فوقانی این تپه براثر فرسایش طی حدود ۳۰۰ سال کشت‌وکار به پایین انتقال یافته است. خاک سطحی آشکار شده در قسمت فوقانی تپه عمدتاً شامل مواد روشن افقC است مناطقی در پایین شیب افق‌های سطحی عمدتاً نشان‌دهنده مواد افق‌های A و B است که بعضی از آن‌ها پس از فرسایش این مواد از بخش‌های فوقانی رسوب‌گذاری شده است.(راست) فرسایش در مزرعه گندم در قسمت عقب عکس سبب رسوب‌گذاری یک لایه‌ی ضخیم در جلو عکس شده و سبب مدفون‌شدن زراعت در پای تپه شده‌است.

۲-۱۷ اثرات فرسایش تسریعی در محل اصلی[1] وقوع و در خارج از آن[2]

فرسایش علاوه بر ایجاد خسارت در محل اصلی، دارای اثرات نامطلوب در خارج از محل وقوع آن یعنی در زیست‌محیط گسترده‌تر نیز می‌باشد. هزینه‌های فرسایش در خارج از محیط اصلی مربوط به اثرات آب و رسوب اضافی و مواد شیمیایی همراه آن‌ها در اراضی پایین‌دست، و زیست‌محیط پایاب رودخانه است. درحالی‌که هزینه‌های این دو نوع خسارت ممکن‌است بلافاصله ظاهر نشوند اما واقعیت داشته و طی زمان آشکار می‌گردند. نهایتاً باید مالکان اراضی و جامعه این هزینه‌ها را پرداخت کنند.

انواع خسارت در محل وقوع فرسایش

آشکارترین جنبه فرسایش هدررفت خود خاک است. درواقع، میزان خسارت در خاک بیشتر از آن است که خاک فرسایش‌یافته مشخص می‌سازد، زیرا مواد فرسایش‌یافته بسیار از مواد به‌جامانده در زمین اصلی ارزشمندتر است. در این فرایند، نه‌تنها افق‌های سطحی فرسایش یافته و افق‌های زیرین (معمولاً کمتر مفید می‌باشند) دست‌نخورده باقی می‌مانند بلکه کیفیت خاک سطحی نیز تنزل می‌یابد. قدرت انتخابی فرسایش، مواد آلی و ذرات ریزکانی‌ها را برداشت نموده و اجزای کمتر فعال، و درشت را عمدتاً باقی می‌گذارند. آزمایش‌های صحرایی نشان داده‌اند که ماده‌ی آلی و نیتروژن در مواد فرسایش‌یافته ۵ برابر خاک سطحی اصلی می‌باشد. نسبت غنی‌شدن برای فسفر و پتاسیم به ترتیب معمولاً ۲ و ۳ برابر است (جدول ۳-۱۴ را مرور کنید). میزان عناصر غذایی اساسی که در اثر فرسایش از خاک اصلی از دسترس خارج می‌شوند کاملاً بالا است، هرچند فقط قسمتی اندک از این عناصر غذایی ازدست‌رفته در کوتاه‌مدت برای نبات قابل‌استفاده می‌باشد (جدول۲-۱۷). خاک به‌جای‌مانده معمولاً دارای ظرفیت نگهداری آب قابل‌استفاده و ظرفیت تبادل کاتیونی پایین، فعالیت زیستی کمتر و ظرفیت تأمین عناصر غذایی کمتری برای رشد نبات است.

---

[1] - Onsite
[2] - Off-site

علاوه بر کاهش عوامل کیفیت خاک، که هم اکنون اشاره گردید حرکت خاک طی فرایند فرسایش می‌تواند عوامل بیماری گیاهی را از خاک به پوشش برگی نبات و از یک منطقه در بالای مزرعه به پایین مزرعه پخش کند. تخریب ساختمان معمولاً یک لایه سخت را در سطح خاک به‌جای می‌گذارد (سله) که سبب کاهش ظرفیت نفوذ و افزایش رواناب می‌گردد. ممکن‌است طی فرایند فرسایش بذور تازه‌کاشته‌شده و گیاهچه‌ها به پایین شیب شسته شده، ریشه درختان آشکار شده و نباتات کشت‌شده در زیر رسوب مدفون گردند. در فرایند فرسایش بادی ممکن‌است میوه‌ها و پوشش برگی در اثر برخورد ذرات شن[1] بادرفته دچار صدماتی گردند.

سرانجام خندق‌ها که در اراضی شدیداً فرسایش‌یافته حفره‌هایی را ایجاد می‌کنند که ممکن‌است استفاده از تراکتور را غیرمقدور ساخته، و یا ممکن‌است با زیرکنی ساختمان‌ها و جاده‌ها شرایط نامطمئن و هزینه‌های سنگین تعمیر را به‌بار آورند.

جدول ۲-۱۷ هدررفت تخمینی نیتروژن و فسفر کل و قابل استفاده در مواد فرسایش‌یافته در خاک‌های آمریکا.

هدررفت پتاسیم کل از نیتروژن و فسفر کل بالاتر است زیرا این عنصر معمولاً دارای مقدار کل بیشتری در بخش جامد خاک می‌باشد. اما مقدار نیتروژن قابل‌استفاده هدریافته براثر فرسایش از دو عنصر دیگر بیشتر است. این امر ممکن‌است به‌خاطر مصرف کودهای شیمیایی نیتروژنی در سطح خاک باشد، که در آن‌جا نیتروژن بیشتر در معرض هدررفت به‌وسیله‌ی رواناب و رسوب می‌باشد. اعداد برحسب ۱۰۰۰ تن می‌باشد.

منطقه	نیتروژن		فسفر		پتاسیم	
	کل	قابل استفاده	کل	قابل استفاده	کل	قابل استفاده
مناطق اقیانوس کبیر	۱۰۰	۱۸	۲۹	۰/۶	۱۱۵۴	۲۳
مناطق کوهستانی	۱۷۶	۳۲	۶۴	۱/۳	۲۵۵۰	۵۱
دشت‌های جنوبی	۵۱۲	۹۴	۱۰۱	۲	۳۰۴۳	۶۱
دشت‌های شمالی	۲۰۶۸	۳۸۰	۲۹۳	۵/۹	۱۱۷۱۱	۲۳۴
ایالات دریاچه‌دار	۶۲۲	۱۱۴	۱۰۷	۲/۱	۳۶۴۳	۷۳
کمربند ذرت	۴۳۶۰	۸۰۲	۶۲۴	۱۲/۵	۲۴۹۵۹	۴۹۹
ایالت‌ها واقع در اطراف مصب‌ها	۴۷۸	۸۸	۱۴۱	۲/۸	۴۲۲۰	۸۴
ایالات جنوبی	۲۰۲	۳۷	۱۰۱	۲	۱۰۰۷	۲۰
ایالات اپالاچی	۶۷۶	۱۲۴	۱۶۹	۳/۴	۳۳۸۱	۶۷
ایالات شمالی	۳۰۰	۵۵	۷۵	۱/۵	۲۲۵۲	۴۵
کل	۹۴۹۴	۱۷۴۴	۱۰۷۴	۳۴/۱	۵۷۹۲۰	۱۱۵۸

انواع خسارت خارج از محل اصلی

فرسایش رسوب و عناصر غذایی را از اراضی جدا کرده و دو مسأله بسیار گسترده آلودگی آب را در رودها و دریاچه‌ها ایجاد می‌کنند. اثرات عناصر غذایی در کیفیت آب عمدتاً از طریق فرایند غنی‌شدن[2] به‌وسیله‌ی نیتروژن و فسفر اضافی اعمال می‌شود. علاوه بر عناصر غذایی، ممکن‌است رسوب و رواناب فلزات سنگین و ترکیبات آلی مانند آفت‌کش‌ها را با خود حمل کنند. رسوب خود یک آلاینده عمده‌ی آب بوده و سبب خسارت گسترده زیست‌محیطی می‌شود.

خسارت ناشی از رسوب: رسوبات ته‌نشین‌شده در روی اراضی ممکن سبب مدفون‌شدن محصول و پوشش گیاهی کم‌ارتفاع گردد (شکل ۵-۱۷). رسوب سبب پرشدن نهرهای زه‌کش کنار جاده گردیده و شرایط خطرناکی را برای رانندگی وقتی گل جاده را می‌پوشاند، ایجاد می‌کند. رسوباتی که به‌داخل رودخانه‌ها شسته می‌شوند سبب گل‌آلوده‌شدن و کدورت آب می‌گردند. کدورت زیاد از ورود نور آفتاب به‌داخل آب ممانعت کرده و از سوخت‌وساز نوری و بقای پوشش گیاهی آبی مستغرق[3] جلوگیری می‌کند. مرگ پوشش آبی مستغرق در جای

---

[1] - Sand blasting
[2] - Eutriphication
[3] - Submerged aquatic vegetation.(SAV)

خود سبب تخریب زیستگاه ماهی و به‌هم‌خوردن زنجیره‌ی حیات آبی می‌شود. آب گل‌آلود همچنین می‌تواند سبب گرفتگی آب‌شُش بعضی از ماهی‌ها گردد. رسوبات ته‌نشین‌شده در کف رودخانه‌ها می‌تواند اثرات مصیبت‌باری بر ماهی‌های آب شیرین ازطریق مدفون‌نمودن قطعه‌سنگ‌ها و قلوه‌سنگ‌ها که ماهی‌ها در بین آن‌ها تخم می‌گذارند، گردند. بالاآمدن کف رودخانه در اثر رسوبات می‌توانند ارتفاع آب رودخانه را بالا آورده و دفعات طغیان رودخانه و شدت آن‌را افزایش دهد. برای نمونه، برای مقابله با بالاآمدن کف رودخانه، باید گوره‌های مهار سیل در دو طرف رودخانه می‌سی‌سی‌پی به‌طور مرتب بزرگ‌تر گردند. هنگامی‌که یک رودخانه دارای رسوب به یک مخزن و یا مصب می‌رسد، مسایل متعددی پیش می‌آید. در این نقاط سرعت آب کم شده و بار رسوب خود را ته‌نشین می‌کند نهایتاً، مخازن، حتی آن‌هایی که با ایجاد سدهای عظیم ایجاد شده‌اند، به کفه‌های خالص گلی تبدیل شده و به‌طور کامل از رسوبات مملو می‌شوند(شکل ۶-۱۷ ب را مشاهده کنید). البته قبل از این مرحله، ظرفیت مخازن برای ذخیره‌ی آب آبیاری و یا آب شهری و همین‌طور ظرفیت نگهداری سیلاب و تولید نیروی برقابی به‌طور مداوم کاهش می‌یابد. برآورد شده است که سالانه ۱/۵ میلیارد تن رسوب در مخازن سدهای کشور امریکا ترسیب می‌شود. همین‌طور، لنگرگاه‌ها و آبراهه‌های کشتی‌رانی پر شده و غیرقابل عبور می‌گردند. هزینه‌های لایروبی، تخلیه، تصفیه و فعالیت‌های ساختمانی برای رفع این مشکلات در هرسال به میلیاردها دلار می‌رسد.



(الف)



(ب)

شکل ۶-۱۷ خسارت در خارج از محل اصلی که براثر فرسایش ایجاد می‌شود، شامل اثرات رسوب بر نظام آبی است. (الف)یک ر[illegible]رعی حاوی رسوب به‌داخل آب روشن یک رود بزرگ‌تر تخلیه می‌شود. آب کدر سبب گرفتگی آب‌شُش ماهی، ممانعت از رشد گیاهان مستغرق آب‌زی، گرفتگی نظام تصفیه آب می‌شود. بخشی از رسوب در کف رود خانه ته‌نشین و سبب پوشاندن محل تخم‌ریزی ماهی‌ها و بالاآمدن کف رودخانه و تشدید طغیان آتی رودخانه می‌شود.(ب) لایروبی و حفاری پر هزینه (به‌وسیله‌ی لایروب در قسمت جلو عکس)برای حفظ زیبایی، ارزش‌های تفریحی و ایفای نقش مهار سیل در این آبگیر در نزدیکی یک بوستان که بعد از تراکم رسوب به‌شکل یک کفه گلی در آمده است. حوزه‌ی بالادست آبگیر یک دوره‌ی سریع توسعه شهری را سپری کرده است، که طی آن عملیات کافی برای مهار رسوب در محل ایجاد ساختمان‌ها انجام نشده است.

گرد و خاک بادرفته : فرسایش بادی نیز دارای اثرات خارج از محل اصلی مربوط به خود می‌باشد. ممکن‌است شن بادرفته جاده‌ها را مدفون ساخته، نهرهای زه‌کشی را پر کرده و هزینه‌های سنگینی را برای نگهداری آن‌ها به‌بار آورد. اثرات برخورد ذرات شن بادرفته ممکن‌است خساراتی در سطح میوه‌ها و سطح برگ مزارع همجوار پدید آورده، و در بدنه ماشین‌ها و ساختمان‌ها کیلومترها دورتر از محل وقوع فرسایش بادی آثاری به‌جای گذارد.

به‌خطرافتادن سلامتی: ممکن‌است ریزترین ذرات که تا دورترین فاصله به‌وسیله‌ی فرسایش بادی انتقال می‌یابند خطرات عمده‌ای را برای سلامتی انسان به‌بار آورند. درحالی‌که ذرات در اندازه‌ی لای معمولاً به‌وسیله‌ی موی‌های بینی تصفیه شده و یا در لایه کرک‌دار لوله‌های تنفسی و نایژه‌ها ترسیب می‌شوند، ذرات کوچک‌تر در اندازه رس از این اندام‌های دفاعی گذشته و در کیسه‌های هوایی شش‌ها تجمع می‌یابند. خود ذرات سبب ملتهب‌شدن شش‌ها گردیده اما ممکن‌است مواد سمی را با خود حمل کنند که سبب خسارت بیشتر گردد. برای مثال، ممکن‌است ذرات رس موجود در هوا بخار آب را جذب کرده و به‌وسیله‌ی اسیدسولفوریک و یا نیتریک، که در نیوار یافت می‌شوند پوشش یابند (بخش ۵-۹ را مشاهده کنید). مطالعات درازمدت صدمات همه‌گیری مطرح می‌کنند که تعداد مرگ‌ومیرهای ناشی از استنشاق این ذرات گردوغبار از تعداد مرگ‌ومیرهای ناشی از تصادفات اتومبیل در بزرگ‌راه‌ها بیشتر است. به این دلیل سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا و سایر سازمان‌های مسوول، نیاز به کاهش انتشار گردوغبار بادرفته را، که اکثر آن‌ها از اراضی کشاورزی، مراتع و محل‌های ایجاد ساختمان، (و همچنین از حمل‌ونقل بر روی جاده‌های خاکی) ناشی می‌شوند پیش‌بینی کرده‌اند.

برآورد هزینه‌های فرسایش خاک: هرچند اطلاعات دقیقی دراین‌باره وجود ندارد میزان متوسط فرسایش بادی و آبی در مقیاس ملی و ناحیه‌ای برای برآورد هزینه‌های کلی فرسایش در ایالات متحده به‌کار گرفته شده است. در این محاسبات هزینه‌های فرسایش در محل اصلی برای جایگزینی عناصر غذایی و آب هدررفته براثر فرسایش تسریعی و همچنین کاهش عملکرد محصول به‌خاطر کاهش عمق خاک در اثر فرسایش منظور شده است. بر اساس فرضیاتی عمدتاً درمورد ارزش عناصر غذایی هدررفته در رسوب و رواناب (آیا باید عناصر در اشکال قابل استفاده ارزش‌گذاری شوند؟)، هزینه کل سالانه فرسایش در محل وقوع بین ٤ تا ٢٧ میلیارد دلار برآورد شده است.

هزینه‌های فرسایش در خارج از محل اصلی وقوع آن، شاید به‌خصوص به‌خاطر اثرات ذرات بادرفته بر سلامتی انسان و کاهش ارزش‌های تفریحی (ماهی‌گیری و شنا و زیبایی‌شناسی) رودخانه‌های گل‌گرفته حتی بیشتر باشد. تمام این هزینه‌های فرسایش در خارج از محل اصلی به‌طور سالانه به‌طور کلی ۵ تا ۱۷ میلیارد دلار برآورد شده است. بنابراین، به‌نظر می‌رسد بزرگی هزینه‌ی کل سالانه‌ی فرسایش در آمریکا بین ۹ تا ٤٤ میلیارد دلار باشد. این هزینه‌های سنگین بیانگر یک هشدار جدی از باری است که جامعه براثر مدیریت ضعیف اراضی تحمل می‌کند، و به‌نظر می‌رسد افزایش وجوهی را که برای مبارزه با فرسایش اختصاص یافته است، کاملاً توجیه کند.

حفظ توان تولید اراضی: هرچند فرسایش شدید خاک می‌تواند توان تولیدی خاک را تقریباً به صفر برساند، در اکثر موارد اثر فرسایش بسیارضعیف و پنهان بوده و نمی‌توان از وجود آن دربین دو سال متوالی اطلاع پیدا کرد. وقتی زارعین قدرت مالی داشته باشند، آن‌ها کاهش هدررفت عناصر غذایی را با افزایش مصرف کود شیمیایی جبران می‌کنند. جبران کاهش ماده ی آلی و ظرفیت نگهداری آب بسیار مشکل است. در درازمدت میزان فرسایش شتابی که از نرخ تشکیل خاک پیشی گیرد، سبب کاهش توان تولیدی در اکثر خاک‌ها خواهد شد. در آمریکا، عملکرد محصولات زراعی برروی خاک‌های شدیداً فرسایش‌یافته اغلب ۲۰ تا ٤٠درصد کمتراز خاک‌های مشابه با فرسایش کمتر می‌باشد.

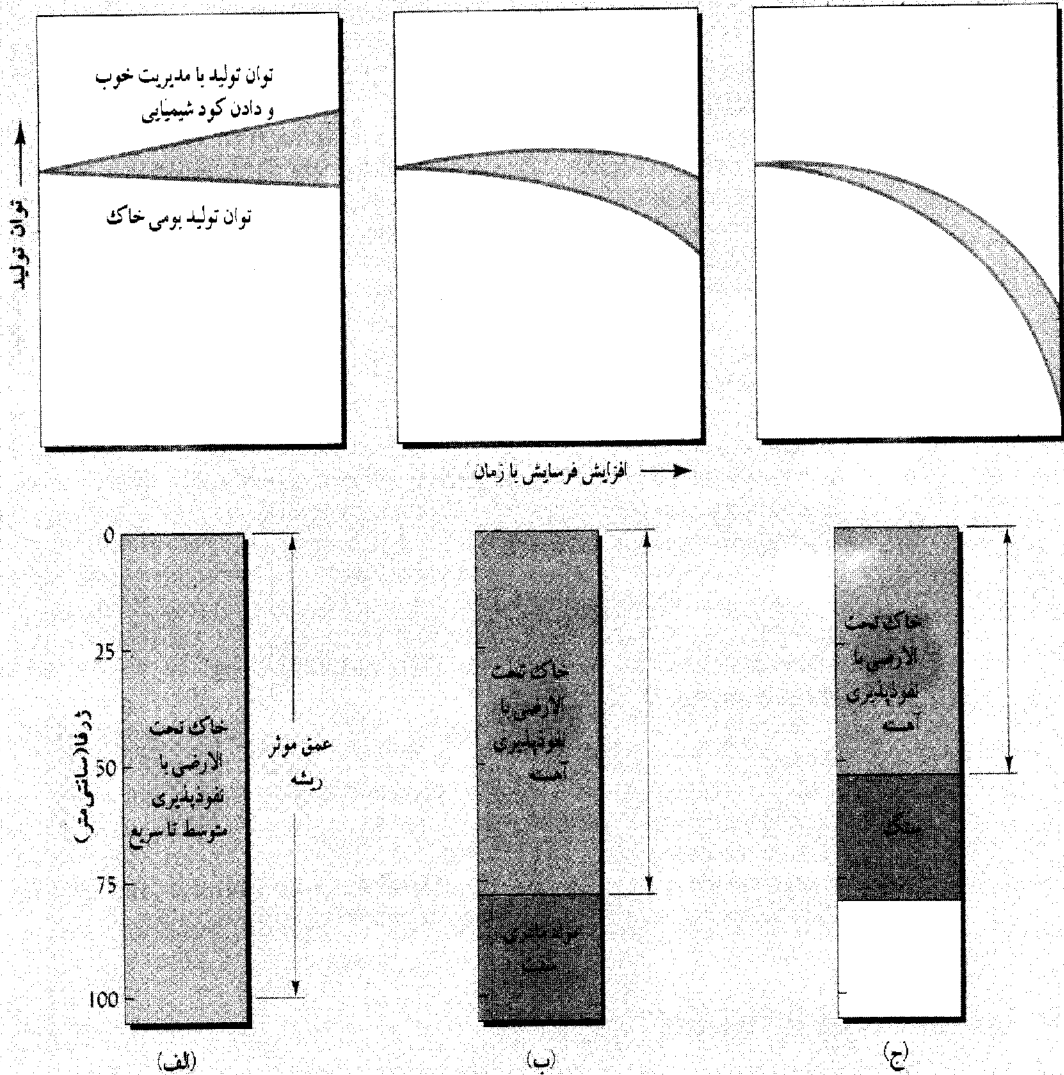
سرانجام نرخ کاهش توان تولید و یا هزینه‌ی حفظ سطوح تولید به‌وسیله‌ی خصوصیاتی مانند عمق خاک تا لایه‌ی محدودکننده‌ی رشد و نفوذپذیری خاک زیرین مشخص می‌شود. همان‌طورکه در شکل ۷-۱۷ نشان داده شده است، یک خاک عمیق با زه‌کشی و مدیریت خوب، حتی اگر تا حدی در معرض فرسایش قرار گیرد، توان تولید خود را خیلی از دست نمی‌دهد. برعکس، ممکن‌است فرسایش در یک خاک کم‌عمق با نفوذپذیری اندک سبب کاهش سریع توان تولید خاک گردد.

فرسایش قابل‌قبول[1]

هدررفت هر مقدار خاک براثر فرسایش زیان‌بار است اما سال‌ها تجربه صحرایی و همچنین تحقیقات علمی، بیانگر این است که مقداری از هدررفت قابل‌تحمل می‌باشد. محققین سازمان حفاظت منابع طبیعی وزارت کشاورزی آمریکا با همکاری مأموران صحرایی در سرتاسر آمریکا برای اکثر خاک‌های تحت کشت‌وکار حدود فرسایش قابل‌قبول را به‌طور تجربی تعیین کرده‌اند.

[1] - Tolerable erosion

فرسایش قابل‌قبول (مقدارT)، عبارتست از حداکثر مقدار خاکی که هرسال می‌تواند به‌وسیله‌ی مجموعه‌ی فرسایش آبی بادی در یک خاک به‌خصوص بدون تأثیر در توان تولید درازمدت به‌هدر رود. مقدار T درحال‌حاضر نه براساس اطلاعات دقیق تحقیقاتی، بلکه براساس بهترین قضاوت محققین صاحب‌نظر استوار است.



شکل ۷-۱۷ اثر فرسایش در طول زمان بر توان تولیدی سه خاک با عمق و نفوذپذیری متفاوت. توان تولید در خاک (الف) طی زمان به‌خاطر عملیات خوب و افزایش کود درواقع افزایش پیدا می‌کند. توان تولید اولیه‌ی خاک حتی در اثر فرسایش کاهش می‌یابد. از آن‌جاکه خاک (ج) کم‌عمق بوده و دارای نفوذپذیری محدودی می‌باشد توان تولید آن در اثر فرسایش به‌سرعت کاهش می‌یابد، از این کاهش نمی‌توان با مدیریت خوب و مصرف کود شیمیایی اجتناب کرد. توان تولید خاک(ب) که از نظر عمق و نفوذپذیری متوسط می‌باشد، اثر فرسایش به‌مقدار کمی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. خصوصیات خاک به‌طور آشکار بر توان تولیدی خاک در اثر فرسایش مؤثر می‌باشد.

مقادیر معمول فرسایش قابل‌قبول : مقدار T در خاک‌های آمریکا معمولاً از ۵ تا ۱۱ تن‌درهکتار متغیر است. این مقادیر در ارتباط با تعدادی از عوامل کیفی و مدیریتی خاک ازجمله عمق، مقدار ماده‌ی آلی و استفاده از عملیات مهار آب وابسته است. برای خاک‌هایی با لایه‌های کم‌عمق غیرحاصلخیز، غیرقابل‌نفوذ، و یا با مواد سنگی معمولاً دارای مقادیر T در نزدیک حد پایین دامنه T (۵ تن‌درهکتار) اختصاص یافته است. در بعضی مناطق حاره‌ای با توان اندک عرضه عناصر غذایی در لایه‌های زیرین مقادیر مناسب T باید به‌مقدار قابل‌ملاحظه‌ای از آن‌چه در آمریکا به‌کار می‌رود پایین‌تر باشد.

در اکثر خاک‌های تحت کشاورزی آمریکا درحال‌حاضر بالاترین مقدار T یعنی ۱۱ تن‌درهکتار اختصاص یافته است، و این به‌معنی حداکثر هدررفت مجاز به‌مقدار ۰/۹ میلی‌متر از عمق خاک در هرسال است. میزانی که حدود ۲۲۵ سال طول خواهد کشید تا طبقه Ap خاکی با عمق ۲۰ سانتی‌متر و وزن مخصوص ۱/۲۵ گرم در سانتی‌مترمکعب تماماً از دست رود. در تحت مدیریت خوب زراعی در یک خاک با خاکرخ عمیق نفوذپذیر این زمان برای جایگزینی لایه ازدست‌رفته به‌وسیله‌ی ایجاد افق جدید Ap از مواد زیرین کفایت می‌کنند. ایجاد افق‌ها در خاک‌های دست‌نخورده تحت پوشش طبیعی احتمالاً بسیار کمتر از این مقدار می‌باشد. بنابراین، مقدار T اختصاص یافته به یک نوع خاک خاص احتمالاً سبب حفظ اراضی جنگلی در بسیاری از مناطق نخواهد شد.

اهمیت مقادیر T : از آن‌جاکه مقدار T برای ارزیابی و تأیید برنامه‌های نظارتی متعدد به‌کار می‌رود. مجادلات زیادی درمورد بالابردن و یا پایین‌آوردن آن وجود دارد. برای خاک‌های دارای منطقه انتشار ریشه عمیق و مناسب میزان فعلی ۱۱ تن‌درهکتار ممکن‌است از میزان لازم کمتر باشد. بسیاری از دانشمندان معتقدند که برای خاک‌های دارای چندین متر عمق با موادی مناسب برای رشد ریشه نبات توان تولید خاک می‌تواند با هدررفت ۱۵ تن‌درهکتار در سال و یا حتی ۲۰ تن به آسانی نگهداری شود. دانشمندان دیگر، که توان تولید درازمدت خاک و یا اثرات رسوب حاصل از فرسایش خاک را در خارج از محل وقوع آن درنظر دارند، بر این باورند که مقادیر T مورد استفاده کنونی بسیار بالا است.

حتی با بودن این محدودیت‌ها، مفهوم T برای عطف توجه در خاک‌هایی که عملیات اصلاحی برای حفظ توان تولید آن‌ها لازم است مفید می‌باشد. سرشماری منابع ملی آمریکا در سال ۱۹۹۲ مطرح می‌کند که تحت کاربری‌ها و مدیریت فعلی، توان تولید در حدود ۱۰۲ میلیون هکتار از اراضی غیردولتی در آمریکا درحال کاهش است، ۳۳ درصد از کل اراضی زراعی با نرخ بیشتر از T درحال فرسایش بوده، که در حدود ۱۵ درصد آن‌ها فرسایش دو برابر میزان T می‌باشد. روشن است، که کار زیادی در مبارزه با فرسایش‌های شدید خاک باقی‌مانده است که باید انجام پذیرد.

۳-۱۷ سازوکار فرسایش آبی

فرسایش خاک به‌وسیله‌ی آب اساساً یک فرایند سه مرحله‌ای است (شکل ۸-۱۷):

۱) جداکردن ذرات از توده‌ی خاک[1] ۲) انتقال ذرات جداشده[2]، به پایین شیب براثر شناوری، غلطیدن، کشیدن و پاشمان و۳) ترسیب ذرات انتقال‌یافته در بخش‌هایی در ارتفاع پایین‌تر[3] می‌باشد. در سطوح نسبتاً مسطح خاک، نیروی برخورد قطرات باران بخش عمده جداکردن را به‌عهده داشته، و در مناطقی که آب در آبراهه‌هایی متمرکز می‌گردد، عمل برشی جریان متلاطم آب سبب جدانمودن ذرات خاک می‌شود. در بعضی مواقع، عمل یخ‌بندان و ذوب یخ سبب جداکردن ذرات خاک می‌گردد.

تأثیر قطرات باران

سرعت قطره باران درحین سقوط افزایش یافته تا به یک سرعت نهایی[4] می‌رسد که در آن نیروی اصطکاک بین قطره و هوا معادل نیروی ثقل می‌گردد. قطرات درشت‌تر، سریع‌تر نزول یافته و به سرعتی حدود ۳۰ کیلومتردرساعت و یا ۲ تا ۳ برابر سرعت دویدن یک انسان می‌رسد. با برخورد قطرات سریع باران دارای نیروی انفجاری، انرژی جنبشی آن‌ها به ذرات خاک انتقال می‌یابد(شکل ۸-۱۷ رامشاهده کنید).

برخورد قطرات باران سه اثر مهم را اعمال می‌کند که عبارتند از:۱)جداکردن ذرات خاک ۲)تخریب خاکدانه‌ها و۳)پاشمان ذرات در شرایط خاص و انتقال قابل‌توجه آن‌ها. نیروی اعمال‌شده به‌وسیله‌ی قطرات باران چنان زیاد است که نه‌تنها سبب سست و جداگشتن خاکدانه‌ها شده، بلکه سبب تخریب خاکدانه‌ها به اجزای ریزتر می‌گردد. با خشک‌شدن ذرات جداشده ممکن‌است یک لایه‌ی سخت (سله) ایجاد گردد، که از بیرون‌آمدن گیاهچه‌ها جلوگیری کرده، و سبب بروز رواناب در بارندگی‌های بعدی می‌گردد.

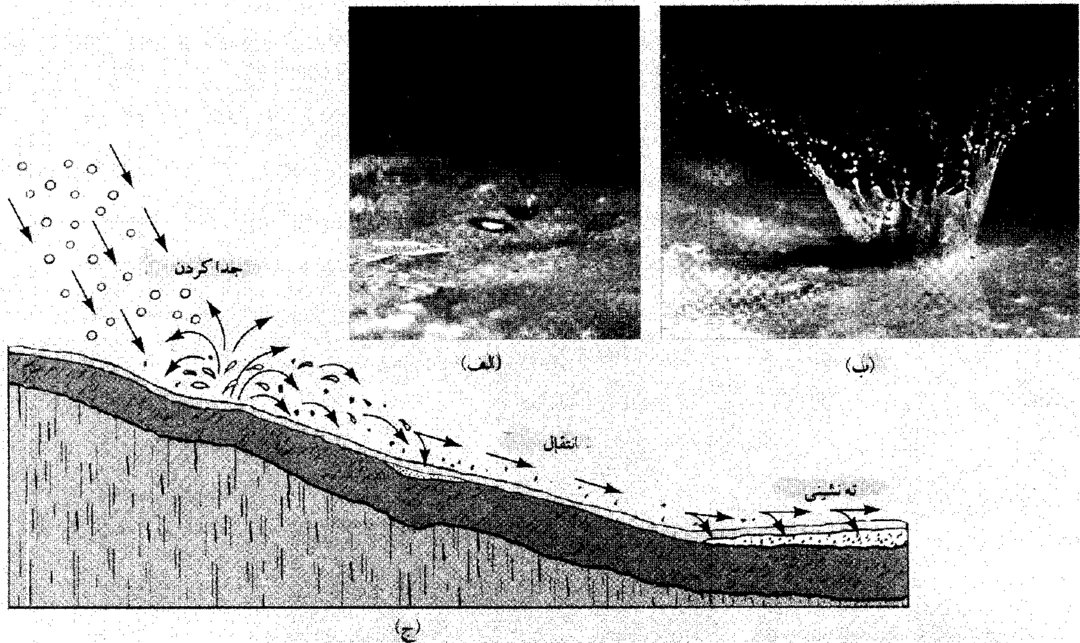
زمانی تاریخ ممکن‌است ثبت کند که یک پیشرفت علمی واقعی در قرن بیستم تشخیص این مطلب بود که: بخش اعظم فرسایش براثر برخورد ضربات قطرات باران درمقایسه با رواناب صورت می‌گیرد. قرن‌ها قبل از این تشخیص، تلاش‌های حفاظت خاک عمدتاً برای مهارکردن جریان قابل‌مشاهده‌ی رواناب به‌جای حفاظت سطح خاک از برخورد قطرات باران مبذول می‌گردید.

---

[1] - detachment
[2] - Transportation
[3] - deposition
[4] - Terminal velocity

انتقال ذرات خاک

اثرات پاشمان قطرات باران: وقتی قطرات باران بر سطح یک خاک خیس برخورد می‌کند، سبب برداشت ذرات خاک و پرتاب آن‌ها در تمام مسیرها می‌شود(شکل ۸-۱۷). در یک خاک با سهولت برداشت آسان، ممکن‌است یک باران شدید سبب پاشمان ۲۲۵ تن خاک درهکتار گردد. بعضی از ذرات ممکن‌است به‌طور قائم ۰/۷ متر و به‌طور افقی حدود ۲ متر پاشمان یابند. درصورت شیب‌داربودن زمین، و یا در جریان باد، میزان پاشمان در یک جهت ممکن‌است از دیگر جهات بیشتر گردد، که درآن‌صورت خالص حرکت افقی ذرات خاک قابل‌ملاحظه می‌باشند.



شکل ۸- ۱۷ سه مرحله‌ی فرسایش خاک به‌وسیله‌ی آب با برخورد قطرات باران به خاک مرطوب آغاز می‌شود. (الف) یک قطره باران با سرعت به زمین برخورد می‌کند. (ب) وقتی قطره به سطح خاک مرطوب لخت می‌رسد، پاشمان حاصل می‌شود. این ضربت قطرات باران سبب تخریب خاکدانه‌ها، ایجاد فرسایش صفحه‌ای و بین‌شیاری می‌شود. مقادیر قابل‌ملاحظه‌ای خاک می‌تواند تنها با پاشمان جابه‌جا شود. قطرات باران در جداشدن ذرات خاک مؤثر می‌باشند این ذرات سپس حمل گردیده و در آخر در پایین‌دست شیب رسوب‌گذاری می‌شوند.

نقش رواناب در انتقال ذرات: رواناب نقش عمده‌ای را در مرحله انتقال فرسایش خاک ایفا می‌کند. چنان‌چه شدت بارندگی از ظرفیت نفوذ خاک پیشی گیرد، آب در سطح خاک جمع گردیده و در طول شیب شروع به حرکت می‌کند. ذرات خاک درحال پاشمان براثر برخورد ضربات باران بر روی سطح آب جاری فرود آمده و به‌وسیله‌ی رواناب به پایین شیب انتقال می‌یابند. تا وقتی که آب به‌صورت آرام در یک لایه‌ی نازک (جریان صفحه‌ای) حرکت کند، دارای توان کمی برای جداکردن ذرات می‌باشد. گرچه در اکثر مواقع آب در اثر وجود عدم یک‌نواختی در سطح خاک تمرکز یافته و سرعت و تلاطم آن افزایش می‌یابد. آب تمرکزیافته نه‌تنها ذرات جداشده براثر پاشمان قطرات باران را با خود انتقال می‌دهد، بلکه خود سبب جداشدن ذرات خاک براثر بریدن توده‌ی خاک نیز می‌گردد، و این یک فرایند شتابی است زیرا وقتی یک آبراهه عمیق‌تر می‌شود از حجم هرچه بزرگ‌تری از آب جاری پر و پرتر می‌گردد. توان رواناب برای بریدن و انتقال ذرات خاک چنان شناخته شده است که عامه‌ی مردم معمولاً تمام خسارات ناشی از بارش را به آن نسبت می‌دهند.

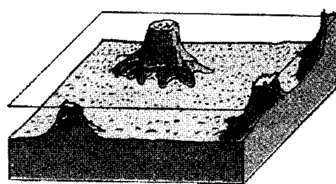
انواع فرسایش آبی

سه نوع فرسایش آبی معمولاً شناخته شده است که عبارتند از:(۱)فرسایش صفحه‌ای (۲)فرسایش شیاری و(۳)فرسایش آبکندی(شکل ۹-۱۷). در فرسایش صفحه‌ای ذرات پاشمان شده کم‌وبیش به‌طور یکنواخت انتقال پیدا می‌کنند، به‌استثنای مواردی که ستون‌های باریک خاک در جاهایی که قلوه‌سنگ‌ها مانع برخورد قطرات باران می‌شوند باقی می‌مانند (شکل ۹-۱۷ الف). به‌محض این‌که جریان صفحه‌ای در آبراهه‌های کوچک (که شیارها نامیده می‌شوند) تمرکز یابند، فرسایش شیاری غالب می‌گردد. شیارها به‌خصوص در خاک‌های فاقد پوشش،

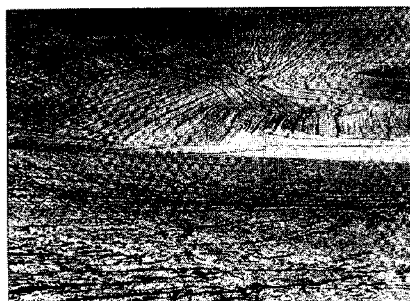
و یا اراضی تازه کشت شده و یا اراضی آیش بسیار معمول می‌باشند (شکل۹-۱۷ب). شیارها آبراهه‌هایی چنان کوچک هستند که با عملیات خاک‌ورزی معمول ازبین می‌روند، گرچه خسارت اصلی، که همان هدررفت خاک است قبلاً انجام گرفته است. هنگامی که فرسایش سطحی عمدتاً در فاصله نامنظم بین شیارها انجام می‌شود، به آن فرسایش بین‌شیاری اطلاق می‌گردد.

هنگامی‌که حجم رواناب بیشتر متراکم گردد، جریان طغیانی سبب کندن خاک با عمق بیشتری گردیده، که سبب ژرف‌ترشدن و تلفیق‌شدن شیارها به‌صورت آبراهه‌های بزرگ‌تری بنام آبکند (شکل۹-۱۷ ج) می‌شود. آبکندها در اراضی زراعی موانعی در مقابل تراکتورها بوده نمی‌توان آن‌ها را با عملیات خاک‌ورزی معمولی برطرف کرد. ممکن‌است هر سه نوع فرسایش شدید باشند اما فرسایش شیاری و صفحه‌ای، که درمقایسه با فرسایش خندقی کمتر توجه را به‌خود جلب می‌کنند، مسوولیت اکثر خاک فرسایش‌یافته را به‌عهده دارند.





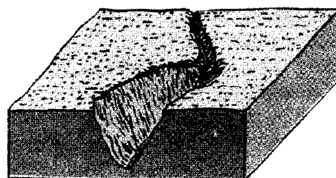
(الف) فرسایش صفحه ای





(ب) فرسایش شیاری





(ج) فرسایش آبکندی

شکل ۹-۱۷ الف:سه چهره‌ی عمده فرسایش آبی خاک. فرسایش صفحه‌ای که عبارت از فرسایش نسبتاً یکنواخت در تمام سطح خاک است. توجه کنید که سنگ‌ریزه‌ها و قلوه‌سنگ‌های به‌جامانده خاک زیرین را از فرسایش سطحی محافظت می‌کند. فرسایش شیاری زمانی شروع می‌شود که آب در آبراهه‌های کوچک (شیارها) هنگام خارج‌شدن از زمین تمرکز یابد. کشت‌وکار بعدی ممکن‌است شیارها را از بین ببرد. اما خاک ازدست‌رفته را نمی‌تواند جایگزین کند. فرسایش خندقی سبب ایجاد آبکندهای ژرفی می‌شود که با عملیات خاک‌ورزی برطرف نمی‌گردند. هرچند فرسایش خندقی نوع مصیبت‌بار فرسایش تلقی می‌شود، اما بیشترین بخش خاک براثر فرسایش شیاری و صفحه‌ای جابه‌جا می‌گردد.

ترسیب خاک‌های فرسایش‌یافته

ممکن‌است فرسایش خاک را به یک سفر هزاران کیلومتری، از کوه‌ها به جویبارها و از رودهای گل‌آلوده پایین‌تر به اقیانوس‌ها گسیل دارد. از طرف دیگر، ممکن‌است خاک فرسایش‌یافته فقط ۱ تا ۲ متر قبل از این‌که در یک فروافتادگی کوچک در دامنه‌ی یک تپه و یا پای شیب ترسیب یابد حرکت کند (همان‌گونه که در شکل ۵-۱۷ ب نشان داده شده است). میزان خاک تحویل شده به یک رودخانه تقسیم بر میزان خاک فرسایش‌یافته، نسبت تحویل رسوب[1] نامیده می‌شود. در حوزه‌های آبخیز خاص که دیواره دره‌ها از شیب خیلی زیاد برخوردارند، ممکن‌است تا حدود ٦۰ درصد مواد فرسایش‌یافته به رودخانه برسد (SDR = ۰/٦). در رودخانه‌هایی که دشت‌های ساحلی با

[1] - Sediment delivery Ratio = SDR

شیب آرام را تخلیه می‌کنند ممکن‌است این نسبت به یک درصد برسد. نسبت تحویل رسوب در حوزه‌های آبخیز کوچک بزرگ‌تر ازحوزه‌های آبخیز بزرگ است، زیرا حوزه‌های دومی امکانات به مراتب بیشتری را برای ترسیب خاک قبل از رسیدن به رودخانه اصلی فراهم می‌آورند. برآورد می‌شود که حدود ۵ تا ۱۰ درصد مواد فرسایش‌یافته در آمریکای شمالی به دریا می‌رسند. بقیه‌ی آن‌ها در آبگیر، رودخانه‌ها، سیلدشت‌ها و یا اراضی نسبتاً مسطح در مناطق بسیار دوردست بالای حوزه‌ی آبخیز ترسیب می‌شوند.

۱۷-۴ مدل‌های برآورد میزان فرسایش ناشی از آب

مدیران اراضی و سیاستمداران نیازمند برآورد میزان فرسایش خاک به دلایل مختلف زیر می‌باشند: ۱- برنامه‌ریزی بهترین مدیریت منابع خاک کشور ۲- ارزیابی پیامدهای عملیات مختلف خاک‌ورزی ۳- تعیین میزان تطابق با مقررات زیست‌محیطی ٤- ارائه‌ی طرح‌های مهار رسوب در طرح‌های ساختمان‌سازی و ۵- برآورد سال‌هایی که عمر یک سد برقابی به‌وسیله‌ی رسوب‌گذاری به پایان می‌رسد.

پروژه برآورد فرسایش آبی WEPP[1]

فرایندهای جداسازی، انتقال و ترسیب خاک می‌تواند از طریق ریاضیات با مدل‌های فرسایش خاک برآورد گردند. این مدل‌ها شامل معادلات و یا مجموعه‌ای از این معادلات تلفیقی می‌باشند که اطلاعات مربوط به بارندگی، خاک، پستی‌وبلندی، پوشش گیاهی و مدیریت یک محل را با میزان خاکی که احتمال دارد فرسایش یابد مرتبط می‌سازند. یکی از مدل‌های کامل و برتر فرسایش خاک که تا حال ابداع گردیده است، مدل مرکب، متکی به فرایند و رایانه‌ای می‌باشد که به آن طرح برآورد میزان فرسایش آبی (WEPP) می‌گویند. این مدل بر مبنای سازوکارهای اساسی موجود در فرایندهای منتهی به فرسایش خاک استوار می‌باشد.

WEPP یک مدل شبیه‌ساز است که بر پایه‌ی روزانه، فرایندهای هیدرولیک، رشد گیاهی و حتی تجزیه‌ی لاشبرگ را محاسبه می‌کند. به‌طور نظری این مدل می‌تواند به‌دقت برآورد کند که بارندگی با خاک طی یک رگبارش و یا طی یک‌سال چگونه تعامل می‌کند. اگر اطلاعات کافی برای تغذیه‌ی مدل فراهم باشد، این مدل می‌تواند اثرات برخورد قطرات باران، فرسایش پاشمانی، جریان بین‌شیاری، تشکیل شیار، جریان متمرکز، تشکیل آبکند و تەنشینی رسوب را هم در محل اصلی فرسایش و هم خارج از آن همگی برآورد کند. هم‌اکنون محققین سازمان جنگل‌ها و سازمان حفاظت منابع طبیعی وزارت کشاورزی آمریکا همراه با دیگر پژوهشگران در سرتاسر دنیا درحال تکمیل پایگاه‌های اطلاعاتی مورد لزوم، آزمون و اصلاح مدل WEPP و قابلیت دست‌یابی به آن در شبکه اینترنت می‌باشند[2]

معادله جهانی فرسایش خاک: USLE[3]

برخلاف برنامه‌های وابسته به فرایند در مدل WEPP، اکثر برآوردهای فرسایش خاک بر مدل‌های ساده‌تری متکی می‌باشند که به‌طورآماری میزان فرسایش را با تعدادی از عوامل که به سادگی قابل‌مشاهده‌اند، مرتبط می‌سازند. دانشمندان می‌توانند این مدل‌های تجربی را درصورت پیداکردن شرایط مرتبط با فرسایش حتی درصورت عدم درک جزییات این ارتباط، ابداع کنند. در بطن این مدل‌ها درک این مطلب است که فرسایش آبی نتیجه تعامل باران و خاک می‌باشد. ده‌ها سال تحقیقات فرسایش به روشنی عوامل عمده‌ی مؤثر در این تعامل را مشخص ساخته‌اند. این عوامل در معادله‌ی جهانی فرسایش خاک به‌طور کمی مشخص شده‌اند که عبارتند از A=RKLSCP که درآن A عبارتست از میزان فرسایش خاک که حاصل‌ضرب عوامل R شاخص فرسایندگی باران، K شاخص فرسایش‌پذیری خاک، L شاخص طول شیب، S شاخص تندی شیب، C شاخص پوشش و مدیریت وP شاخص عملیات مهار فرسایش می‌باشد. این عوامل باهم مشخص می‌سازند که چه مقدار آب داخل خاک گردیده، چه مقدار رواناب، چه مقدار خاک انتقال یافته و کجا و چه‌وقت ترسیب می‌یابد. برخلاف مدل WEPP، مدل USLE فقط برای برآورد میزان هدررفت خاک براثر فرسایش صفحه‌ای و شیاری در یک سال متوسط در یک منطقه خاص طراحی شده است. این مدل نمی‌تواند فرسایش را در یک سال خاص و یا یک رگبار خاص برآورد کند و همچنین نمی‌تواند میزان فرسایش آبکندی و تحویل رسوب را به رودخانه‌ها برآورد کند. هرچند، مدل نشان می‌دهد که چگونه می‌توان انتظار داشت که تغییر هرنوع ترکیب عوامل مربوط به مدیریت خاک و اراضی در میزان فرسایش خاک مؤثر باشند، و بنابراین، می‌تواند به‌عنوان وسیله‌ای در اتخاذ تصمیمات لازم برای انتخاب مؤثرترین راهبردها در حفاظت خاک مورد استفاده قرار گیرند.

---

1 -Water Erosion Prediction Project

2- برنامه و بعضی پایگاه‌های اطلاعاتی را می‌توان ازصفحه‌ی خانگی WEPP با نشانی http://Soils.ecn.Purdue.edu 20002/-wepp.html پیاده نمود.

3 - برای بحث برروی USLE اصلی مقاله Wischmeir & smith 1978 مراجعه نموده وبرای RUSLE به مقاله Renard,et al.1997 مراجعه نمایید.

معادله جهانی تجدیدنظرشده[1] RUSLE :

مدل USLE از دهه‌ی ۱۹۷۰ به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است از ابتدای دهه‌ی ۱۹۹۰ USLE مورد تجدیدنظر قرار گرفته و اطلاعات آن بروز گردیده، به‌صورت رایانه‌ای درآمده، و سبب ارائه مدل برآورد فرسایش تحت نام RUSLE گردیده است. RUSLE از همان عوامل اساسی USLE که در بالا تشریح گردید، استفاده می‌کند. گرچه تعاریف و روابط متقابل در آن بهتر تشریح شده و سبب بهبود صحت برآورد فرسایش خاک شده است. RUSLE یک برنامه نرم‌افزاری رایانه‌ای می‌باشد که با کسب تجارب بیشتر در کاربرد آن در جهان به‌طور مداوم اصلاح و تغییر می‌یابد. اختلافات عمده بین USLE , RUSLE در جدول ۳-۱۷ آمده‌اند. همان‌طورکه خواهیم دید، ۵ عامل مدل USLE[2] چهارچوب مفیدی را برای درک فرسایش خاک و مهارکردن آن ارائه می‌دهند.

جدول ۳-۱۷ خلاصه‌ی اختلاف‌های عمده بین USLE و RUSLE

عامل	رابطه‌ی جهانی فرسایش USLE	رابطه‌ی جهانی فرسایش تجدیدنظر شده RUSLE
R	براساس شرایط بارش متوسط برای مناطق جغرافیایی خاص در آمریکا می‌باشد.	معمولاً همانند USLE در شرق آمریکا می‌باشد، اما مقادیر R در غرب آمریکا (از مونتانا تا نیومکزیکو و غرب) براساس اطلاعات از ایستگاه‌های هواشناسی بیشتری بوده و بنابراین، برای هر نقطه خاص به مراتب دقیق‌تر است. RUSLE برای بیان اثر ضربات باران برروی آب تجمع یافته سطحی در مناطق مسطح یک ضریب اصلاحی برای R محاسبه می‌کند.
K	براساس بافت خاک، میزان ماده‌ی آلی، نفوذپذیری و سایر عوامل ذاتی مربوط به نوع خاک می‌باشد.	همانند USLE اما برای منظورنمودن تغییرات فصلی مانند یخ‌زدن و ذوب آن، رطوبت خاک و تثبیت خاک تنظیم و تعدیل یافته است.
LS	براساس طول و تندی شیب بدون توجه به کاربری اراضی می‌باشد.	این دو عامل USLE با توجه به معادلات جدید براساس نسبت فرسایش شیاری به بین‌شیاری بهبود یافته و برای استفاده در شیب‌های مرکب تطابق یافته است.
C	براساس توالی کشت‌وکار، بقایای سطحی، ناهمواری سطحی و پوشش آسمانه می‌باشد که با توجه درصد توزیع بارندگی فرساینده طی ٦ مرحله رشد نبات استوار است. این عوامل با هم در جدول نسبت هدررفت خاک در عملیات کشت‌وکار و خاک‌ورزی آمده‌اند.	از عوامل فرعی مانند کاربری قبلی، پوشش آسمانه، پوشش سطحی، ناهمواری سطحی و رطوبت خاک استفاده می‌کند. با تقسیم هرسال تناوب در فواصل ۱۵روزه و محاسبه نسبت هدررفت خاک برای هردوره سبب اصلاح USLE شده است. هرزمان که عملیات خاک‌ورزی یکی از عوامل فرعی را تغییر می‌دهد نسبت هدررفت خاک مجدداً محاسبه می‌شود. RUSLE برآوردهای بهتری از تغییرات هدررفت خاک را در سراسر سال به‌خصوص در ارتباط پس‌مانده‌های سطحی و نزدیک سطح خاک و اثرات اقلیم در تجربه پسمانده‌های گیاهی ارائه می‌دهد.
P	براساس اجرای عملیات که سبب کاهش سرعت رواناب و کاهش فرسایش خاک است، استوار است. مقادیر عامل P متناسب با تغییرات شیب تغییر یافته و ارتفاع برجستگی‌های مختلف تا حدی درنظر گرفته می‌شود.	مقدار عامل P براساس گروه‌های هیدرولوژیک خاک، تندی شیب ردیف‌های کشت، ارتفاع برجستگی‌ها، میزان شاخص فرسایش یک رگبار انفرادی با دوره برگشت ۱۰ ساله می‌باشد. RUSLE اثرات کشت نواری را با توجه به ظرفیت حمل جریان در نوارهای متراکم در ارتباط با میزان رسوب رسیده به آن نوار برآورد می‌کند. عامل P برای برنامه‌ریزی حفاظت خاک میزان و محل ترسیب را مورد نظر قرار می‌دهد.

[1] -Revised Universal Soil Loss Equation

[2]- در این کتاب از واحدهای SI استفاده می‌شود در نقشه‌های اصلی واحدها در نظام انگلیسی هستند در آن‌صورت A بر حسب تن (۲۰۰۰ پوند) در ایکر است که می‌تواند با ضرب در ۲/۲۴ به تن متریک در هکتار تبدیل شود.

۵-۱۷ عوامل مؤثر در فرسایش شیاری و بین‌شیاری

عامل فرسایندگی باران[1] (R)

عامل فرسایندگی باران معرف نیروی جلوبرنده‌ی فرسایش شیاری و صفحه‌ای می‌باشد. این عامل کل بارندگی و مهم‌تر از آن، شدت بارندگی و توزیع فصلی آن‌را مورد نظر قرار می‌دهد. شدت بارندگی به دو دلیل دارای اهمیت زیادی است: ۱) باران‌های شدید دارای قطرات درشت‌تر بوده که منتج به ایجاد انرژی جنبشی بزرگ‌تری برای جداکردن ذرات می‌باشد. ۲) هرچه شدت بارندگی بالاتر باشد، رواناب بیشتری فراهم شده که عاملی برای انتقال ذرات جدا شده قبلی است. ممکن‌است باران‌های آرام با شدت اندک حتی درصورت بالابودن میزان بارندگی سالانه فرسایش اندکی ایجاد کنند. برعکس، ممکن‌است چند بارش شدید در مناطق با بارندگی سالانه‌ی کم خسارات شدید به بار آورند. همین‌طور، هدررفت خاک درصورت نزول بارندگی، درست هنگام آب‌شدن خاک یخ‌زده و یا بررروی خاک فاقد پوشش به‌دلیل برهم‌زدن آن شدید می‌باشد.

شاخصی از انرژی جنبشی هر رگبارش از داده‌های مربوط به شدت و مقدار آن محاسبه شده، سپس شاخص‌های تمام رگبارش‌ها که در یک سال وقوع می‌یابند با همدیگر جمع گردیده و شاخص سالانه را ایجاد می‌کنند. متوسط این شاخص‌ها در سال‌های طولانی به‌عنوان میزان R در معادله‌ی جهانی فرسایش مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل RUSLE شامل مقادیر دقیق‌تر R به‌خصوص برای مناطق غرب آمریکا می‌باشد، این مدل همچنین توجه خاصی به برخورد قطرات باران در اراضی مسطح که روی آن‌ها آب جمع شده است، و به رواناب حاصل از ذوب خاک‌های یخ‌زده مبذول می‌دارد.

شاخص بارندگی مناطقی از آمریکا در شکل ۱۰- ۱۷ آمده است. توجه کنید که آن‌ها از کمتر از ۱۰ در مناطق غرب تا ۷۰۰ درطول ساحل لوییزیانا متغیر می‌باشند (نقشه مقادیر R را در نظام انگلیسی ارائه می‌دهد که می‌تواند به واحد Si برحسب مگاژول- میلی‌متر/ هکتار- ساعت سال با ضرب آن‌ها در ۱۷/۰۲ تبدیل گردد). اطلاعات مشابهی برای سایر مناطق جهان ارائه شده است. معمولاً بارندگی درمناطق نیمه‌گرمسیری و گرمسیری تمایل دارد که دارای شدت و فرسایندگی بیشتری نسبت به مناطق معتدل باشد.

شدت بارندگی در اکثر مناطق چنان متغیر است که فرسایندگی واقعی در هرسال معمولاً ۲ تا ۵ برابر بزرگتر یا کوچک‌تر از معدل درازمدت می‌باشد. درواقع چند رگبارش شدید غیرمعمول، اکثر فرسایشی را که طی یک دهه خاص صورت می‌گیرد به خود اختصاص می‌دهند. عملیات حفاظت خاک براساس برآوردهای USLE و RUSLE با استفاده از شاخص فرسایندگی درازمدت باران (R) برای محدودکردن خسارت فرسایش از این رگبارش‌های نسبتاً نادر، اما فوق‌العاده خسارت‌بار کفایت نمی‌کند.

عامل فرسایش‌پذیری خاک (K)

عامل فرسایش‌پذیری خاک بیانگر حساسیت ذاتی یک خاک به فرسایش می‌باشد. مقدار K تخصیص‌یافته به یک نوع خاک مبین مقدار خاک هدریافته در واحد انرژی فرسایندگی باران در یک کرت استاندارد تحقیق فرسایش (با طول شیب ۲۲ متر و شیب ۹ درصد) است که در آن خاک به‌طور دائم با انجام عملیات خاک‌ورزی فاقد پوشش نگهداری می‌شود.

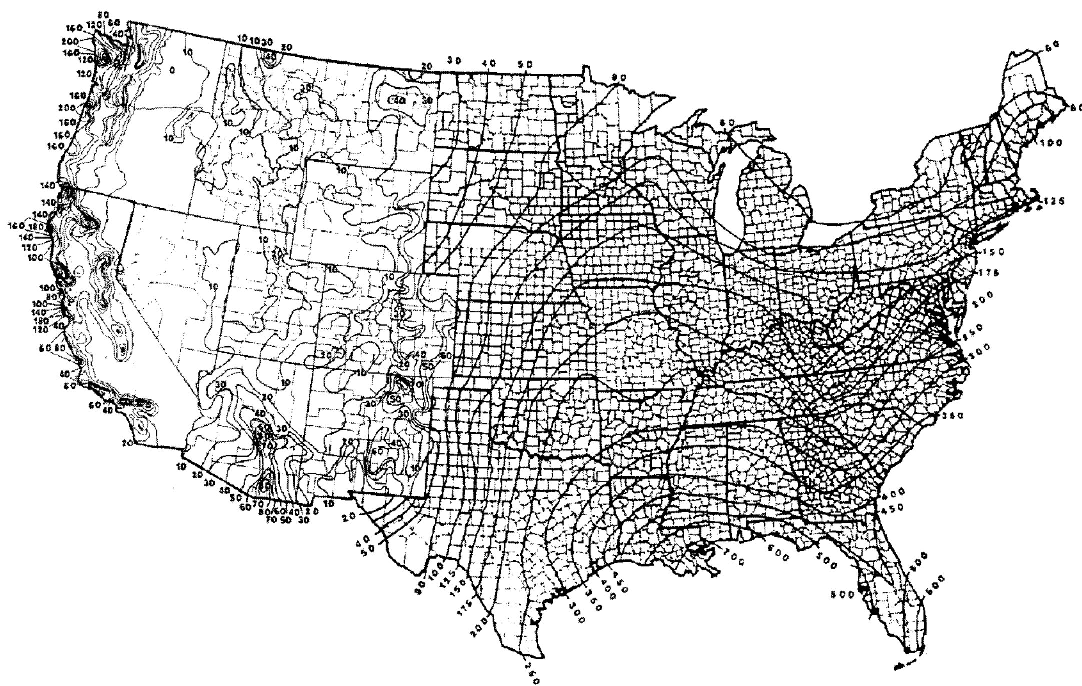
دو خصوصیت بسیار مهم و در ارتباط نزدیک باهم خاک که در فرسایش‌پذیری مؤثرند عبارتنداز ۱- ظرفیت نفوذ ۲- پایداری ساختمان. نفوذپذیری بالا به‌معنی وجود آب کمتر برای رواناب بوده و سطح خاک کمتر ماندابی می‌گردد (که آن‌را بسیار به پاشمان حساس می‌سازد). خاکدانه‌های پایدار خاک درمقابل ضربت قطرات باران مقاومت می‌کنند، و بنابراین، خاک‌ها را حتی درصورت وقوع رواناب، حفظ می‌کنند. خاک‌های رسی خاص در مناطق گرمسیری، که دارای هیدرواکسیدهای آهن و آلومینیوم بالایی می‌باشند به‌خاطر خاکدانه‌های بسیارمقاوم آن‌ها که درمقابل بارش‌های سیل‌آسا مقاومت می‌کنند، مشهورند. رگبارش‌هایی با شدت‌های مشابه برروی رس‌های قابل‌انبساط می‌تواند مصیبت‌بار باشند.

خصوصیات اساسی خاک که سبب ایجاد مقادیر زیاد K می‌گردند، شامل میزان لای و شن خیلی‌ریز، کانی‌های رس متورم‌شونده، تمایل برای ایجاد سله‌ی سطحی، وجود لایه‌های غیرقابل نفوذ و ساختمان‌های مکعبی، بشقابی و یا متراکم خاک می‌باشند. خصوصیات خاک، که آن‌را در مقابل فرسایش مقاوم می‌سازند (مقادیر کم K) شامل میزان ماده‌ی آلی خاک، رس‌های غیرقابل‌انبساط، و ساختمان خاک دانه‌ای قوی می‌باشند. مقادیر تقریبی K برای خاک‌ها در مناطق انتخاب‌شده در جدول ۴-۱۷ نشان داده شده‌است. مقادیر K درموارد خاص که به‌وسیله‌ی برنامه RUSLE به‌دست آمده است تا حدی با این مقادیر متفاوت می‌باشند. توجه داشته باشید که مقادیر K در نظام SI

---

[1] -Rainfall Erosivity Factor

معمولاً از نزدیک صفر تا ۰/۱ متغیر است. خاک‌ها با میزان ظرفیت نفوذپذیری زیاد معمولاً دارای مقادیر K در حدود ۰/۰۲۵ و یا کمترند. درحالی‌که خاک‌های فرسایش‌پذیر با ظرفیت نفوذپذیری کم مقدار K ۰/۰٤ و یا بیشتر می‌باشد.



شکل ۱۰-۱۷توزیع جغرافیایی مقادیر R برای فرسایندگی باران در آمریکای قاره‌ای. به ارقام بزرگ در مناطق مرطوب نیمه‌گرمسیری در جنوب شرق که در آن‌ها باران سالانه‌ی زیاد و رگبارهای شدید معمول است توجه کنید. مقادیر مشابهی باران سالانه در اراضی ساحلی ایالت‌های اورگن و واشنگتن در شمال غرب سبب مقادیر R بسیار کمتری می‌شود، زیرا در آن‌جا باران به‌طور آرام در زمان طولانی نازل می‌شود. شیوه‌ی پیچیده در غرب به‌خاطر اثرات کوه‌ها است. واحدها در روی نقشه برحسب ۱۰۰ فوت‌تن‌اینچ درایکر درساعت درسال است که برای تبدیل آن به واحد SI (مگاژول میلی‌متر درهکتار درساعت درسال) باید در ۱۷/۰۲ ضرب شود.

بر خلاف USLE، RUSLE این واقعیت را به‌حساب می‌آورد که مقادیر K به‌طور فصلی تغییر می‌کنند. برای نمونه، در مناطق سرد ذوب‌شدن خاک یخ‌زده در بهار سبب ایجاد مقادیر بزرگ K می‌شود، زیرا خاک از آب فوق اشباع بوده و در اثر عمل یخ‌زدن و ذوب آن‌ها پف می‌کند. همچنین، مقدار عامل RUSLE K در خاک‌های دارای سنگ و سنگ‌ریزه در طول زمان، کاهش می‌یابد زیرا این خاک‌ها بعد از آن‌که ذرات ریز آن‌ها فرسایش یافت، به‌وسیله‌ی پوشش زره‌مانند قطعات سنگ محافظت می‌شوند.

عامل پستی و بلندی (LS)

عامل پستی‌وبلندی مبین تأثیر طول و شدت شیب بر فرسایش خاک بوده، و به‌صورت یک نسبت بدون بعد از هدررفت خاک در منطقه‌ی مورد نظر درصورت کسر و هدررفت خاک از کرت استاندارد (طول ۲۲ متر و شیب ۹ درصد) در مخرج کسر بیان می‌گردد. هرچه طول شیب بیشتر باشد امکان تراکم رواناب بیشتر است.

عامل LS در جدول ۵-۱۷ بیانگر افزایش عامل با افزایش طول و درصد شیب است. سه جدول فرعی برای مناطق دارای نسبت‌های پایین، متوسط و بالای فرسایش شیاری به بین‌شیاری (صفحه‌ای) ارائه شده است. اکثر مناطقی که تحت کشت‌وکار گیاهان ردیفی هستند دارای نرخ فرسایش شیاری و بین‌شیاری متوسط می‌باشند. در مناطقی که این نسبت پایین است مانند علف‌زارها اکثر فرسایش خاک به‌صورت بین‌شیاری است. در این مناطق تندی شیب دارای تأثیر نسبتاً بیشتری بر روی فرسایش است درحالی‌که طول شیب دارای اثر نسبتاً کمتری می‌باشد. عکس این قضیه برای مناطق حفاری شده جدید و سایر مناطق شدیداً دست‌خورده صادق می‌باشد. که در آن‌ها دارای نسبت‌های بالایی فرسایش شیاری به بین‌شیاری می‌باشند. در این‌جا که فرسایش شیاری غالب است طول شیب دارای تأثیر بیشتری است.

درحالی‌که این مقادیر کلی برای شیب‌های ساده با استفاده از رابطه USLE را می‌توان به‌کار گرفت، برنامه رایانه‌ای راسل مقادیر بسیار اختصاصی را برای موقعیت‌های خاص مزرعه‌ای، ازجمله مقادیر مربوط به شیب‌های مرکب مورد محاسبه قرار می‌دهد.

جدول ۴-۱۷ مقادیر K محاسبه‌شده برای خاک‌ها در مناطق مختلف (مقادیر در نظام SI می‌باشند. ممکن‌است مدل رایانه‌ای راسل مقادیر دقیق‌تری را برای بعضی مناطق ارائه دهد).

خاک	محل	مقدار K محاسبه شده *
یودالف(لوم سیلتی دان کریک)	ژنوا، نیویورک	۰/۰۹۱
یودالف(لوم سیلتی کین)	زانسویل، اوهایو	۰/۰۶۳
یودولت (لوم لودی)	بلاکس‌برگ، ویرجینیا	۰/۰۵۱
یودولت(لوم رسی شن‌دار سیسیل)	وات‌کینس‌ویل، جورجیا	۰/۰٤۸
اودول(لوم سیلتی مارشال)	کلاریندآ، ایوا	۰/۰٤٤
یودالف (لوم رسی سیلتی هاگرس تاون)	استیت‌کالج، پنسیلوانیا	۰/۰٤۱
استول(سیلت استین)	تمپل، تگزاس	۰/۰۳۸
اکوالف(لوم سیلتی مکزیکو)	مک‌کریدی، مونتانا	۰/۰۳٤
ادولت(لوم شنی سیسیل)	وات‌کیس‌ویل، جورجیا	۰/۰۳۰
الفی‌سول	اندونزی	۰/۰۱۸
الفی‌سول	بنین	۰/۰۱۳
اکسی‌سول	ساحل عاج	۰/۰۱۳
ادولت(شن لومی تیفتون)	تیفتون، جورجیا	۰/۰۱۳
اولتی‌سول	هاوایی	۰/۰۱۲
الفی‌سول	نیجریه	۰/۰۰۸
اودپت (لوم سیلتی بات فلاگی[1])	ارونات، نیویورک	۰/۰۰۷
اولتی‌سول	نیجریه	۰/۰۰۵
اکسی‌سول	پرتوریکو	۰/۰۰۱

* برای تبدیل مقدار K از نظام SI (mg. ha. h) / (ha. mg. mm) به نظام انگلیسی (ton. acre. h) / 100 acre. ft. ton. in اعداد جدول در ۷/۶ ضرب می‌شوند.

عامل مدیریت و پوشش (C)

فرسایش خاک می‌تواند به‌آسانی بسیار به‌وسیله‌ی مدیریت پوشش گیاهی، پس‌مانده‌های گیاهی و عملیات خاک‌ورزی مهارگردد. فرسایش و رواناب به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای به‌وسیله‌ی انواع پوشش گیاهی و نظام‌های زراعی تحت تأثیر قرار می‌گیرند (جدول ۶-۱۷). جنگل‌ها و علف‌زارهای متراکم بهترین پوشش خاک را فراهم کرده و میزان تأثیر آن‌ها تقریباً مساوی‌است. گیاهان علوفه‌ای (هم نیام‌داران و هم گونه‌های گندمیان) ازنظر مؤثربودن به خاطر پوشش متراکم خود در مرحله بعدی قراردارند. نباتات دانه‌ریز مانند گندم و چاودار در حدواسط قرار داشته و ممانعت قابل‌ملاحظه‌ای به شستشوی سطحی ارائه می‌دهند. گیاهان ردیفی مانند ذرت، سویا و سیب‌زمینی در مراحل رشد اولیه پوشش زنده اندکی ارائه می‌دهند؛ و بنابراین، خاک حساس به فرسایش باقی می‌ماند، مگر آن‌که پس‌مانده‌های زراعت قبلی سطح خاک را پوشش دهند.

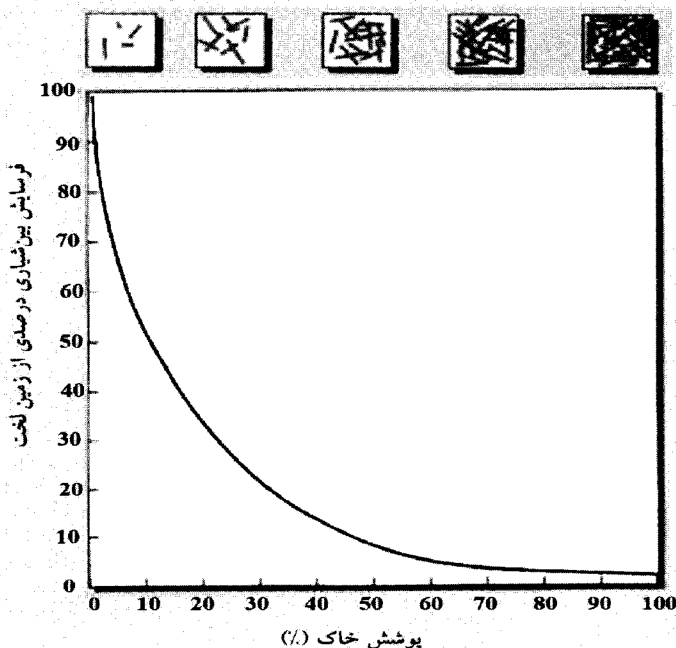
گیاهان پوششی شامل گیاهانی است که همانند گیاهان علوفه‌ای که هم‌اکنون اشاره گردید می‌باشند. آن‌ها می‌توانند سبب ایجاد پوشش در فاصله بین فصول رشد در گیاهان یک‌ساله گردند. برای گیاهان چندساله با فواصل زیاد مانند باغ‌های میوه و بوستان‌ها، گیاهان پوششی می‌توانند به‌طور دائم سبب حفاظت خاک در بین ردیف درختان و یا بوته‌های مو گردند. یک پوشش سطحی از پسمانده‌های گیاهی و یا سایر مواد نیز در حفاظت مؤثر می‌باشد. تحقیق در تمام قاره‌ها نشان داده است که لازم نیست خاک‌پوش سطحی چندان ضخیم باشد و یا تمام سطح خاک را به‌طور کامل پوشش دهد، تا سبب حفاظت خاک گردد. افزایش اندک در پوشش سطحی می‌تواند کاهش بزرگی را در فرسایش خاک، به‌خصوص در فرسایش بین‌شیاری فراهم آورد (شکل ۱۱-۱۷).

---

1 - Bath flaggy silt loam

جدول ۵-۱۷ مقادیر معرف عامل پستی‌وبلندی (LS) در سه محل با درجه و طول شیب مختلف

درصد شیب	طول تقریبی(متر)				
	۲۵	۵۰	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰
	مناطق با نسبت پایین فرسایش شیاری به بین‌شیاری (مراتع)				
۲	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۳	۰/۳۲	۰/۳۳
٤	۰/٤۷	۰/۵۵	۰/٦٤	۰/۷	۰/۷۵
۸	۰/۹۳	۱/۱٦	۱/٤٤	۱/٦۵	۱/۸
۱۲	۱/۵۸	۲/۰۵	۲/٦۵	۳/۰۸	۳/٤۲
۱٦	۲/۳	۳/۰۵	٤/۰٦	٤/۸	۵/٤
	مناطق با نسبت متوسط فرسایش شیاری به بین‌شیاری (زراعت ردیفی)				
۲	۰/۲۵	۰/۲۹	۰/۳۵	۰/۳۸	۰/٤۱
٤	۰/٤۸	۰/٦۲	۰/۷۹	۰/۹۲	۱/۰۲
۸	۰/۹٤	۱/۳۲	۱/۸٤	۲/۲٤	۲/۵۷
۱۲	۱/٦۲	۲/۳۷	۳/٤۸	٤/۳٤	۵/۰۹
۱٦	۲/۳۵	۳/۵٤	۵/۳۳	٦/۷۷	۸/۰۳
	مناطق با نسبت بالای فرسایش شیاری به بین‌شیاری مناطق ساخت‌وساز و بسترهای کشت تازه				
۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/٤٤	۰/۵۱	۰/۵۸
٤	۰/٤۹	۰/۷۱	۱/۰۲	۱/۲۷	۱/٤۸
۸	۰/۹٦	۱/۵۲	۲/۳۸	۳/۱۰	۳/۷٤
۱۲	۱/٦۵	۲/۷	٤/٤۳	۵/۹۱	۷/۲٤
۱٦	۲/۳۹	٤	٦/٦۹	۹/۰۳	۱۱/۱۷



شکل ۱۱-۱۷ کاهش فرسایش بین‌شیاری براثر افزایش درصد پوشش سطحی خاک نمودارها در بالای منحنی بیانگر پوشش ۲۰،۵، ٤۰، ٦۰ و ۸۰ درصد پوشش سطحی است. توجه کنید که حتی پوشش سبک سطحی اثر عمده‌ای بر کاهش فرسایش خاک دارد. منحنی درمورد فرسایش بین‌شیاری کاربرد دارد. ممکن‌است در شیب‌های تند مقداری فرسایش شیاری، حتی درصورت پوشش خوب خاک صورت گیرد.

جدول ۶-۱۷ اثر پوشش گیاهی بر فرسایش آبی در مناطق مرطوب غرب آفریقا (اطلاعات معدل بسیاری از مناطق نزدیک، همه با شیب‌ها و میزان بارندگی مشابه می‌باشند، اثر فرسایشی کشت‌وکار (با انواع ادوات خاک‌ورزی) به‌خصوص آیش فاقد پوشش تشریح شده است. اثر حفاظتی پوشش جنگلی دست‌نخورده نیز مشخص شده است.

نوع پوشش	تعداد محل‌ها	میانگین بارندگی، میلی‌متردرسال	رواناب، درصد بارندگی	فرسایش، تن درهکتار درسال
جنگل‌های حفاظت‌شده در مقابل آتش‌سوزی	۱۱	۱۲۹۳	۰/۹	۰/۱
جنگل‌ها با آتش‌سوزی سبک	۱۳	۱۲۸۹	۱/۱	۰/۲۷
آیش گیاهان طبیعی	۷	۱۲۰۳	۱٦/٦	٤/۸۸
بادام زمینی	۳۲	۱۳۲۹	۲۰/۷	۷/۷
برنج نقاط مرتفع (دیم)	۱۷	۹٤٦	۲۳/۳	۵/۵۲
ذرت	۱۷	۱٤۰۵	۱۷/۷	۷/٦۳
زراعت‌های ناموفق و خاک فاقد پوشش	۱۱	۱۱۵٤	۳۹/۵	۲۱/۲۸

تنظیم چرای احشام با حفظ پوشش متراکم در مراتع و علف‌زارها و تلفیق زراعت‌های علوفه‌ای در تناوب با گیاهان ردیفی در اراضی زراعی، می‌تواند به مهار فرسایش و رواناب کمک کند. به‌همین ترتیب استفاده از نظام‌های عملیات خاک‌ورزی حفاظتی، که اکثر پس‌مانده‌های گیاهی را در سطح باقی می‌گذارد، خطر فرسایشی را به‌مقدار زیادی کاهش می‌دهند.

عامل C در مدل‌های USLE وRUSLE عبارتست‌از نسبت فرسایش در شرایط موردنظر به مقدار فرسایش در خاک فاقدپوشش مداوم، وقتی پوشش خاک اندک باشد (بستر بذر عریان در بهار و یا خاک تسطیح‌شده جدید در مناطق ساختمان‌سازی) عامل C به ۱ می‌رسد. این عامل وقتی مقادیر زیادی پس‌مانده‌های گیاهی درروی زمین باقی بماند ویا در مناطقی با پوشش دائمی، این عامل پایین (کمتر از ۰/۱) است.

عامل C مختص هر منطقه و یا هر نوع پوشش گیاهی و مدیریت خاک می‌باشد. برآوردها براساس داده‌های آزمایشی و یا تجارب مزرعه‌ای از کارمندان حفاظت خاک و برنامه‌ی RUSLE موجود است. نمونه‌های از مقدار C در جدول (۷-۱۷) آمده است.

عامل عملیات حمایتی P

در بعضی مناطق با طول، و یا درصد شیب زیاد، فرسایش مهارشده به‌وسیله‌ی مدیریت پوشش زنده‌ی پس‌ماندهای گیاهی و عملیات خاک ورزی باید با ساخت سازه های فیزیکی ویا سایر مراحل برای هدایت و آرام‌ساختن جریان هرزآب تقویت گردد. این عملیات حمایتی مقدار عامل P را در مدل USLE مشخص می‌کند. عامل P عبارتست‌از نسبت هدررفت خاک در یک عملیات حفاظت خاک به هدررفت مشابه درصورت کشت گیاهان ردیفی در امتداد شیب می‌باشد. اگر عملیات حفاظتی انجام نشده باشد عامل P ۱ می‌باشد. عملیات حفاظتی شامل انجام عملیات کشت‌وکار درروی تراز، کشت نواری تراز یا نظام سکوبندی و آبراهه‌های چمنی‌است که همه‌ی آن‌ها تمایل به کاهش عامل P دارند.

کشت‌وکار در روی تراز[1]:ردیف‌های گیاهی کشت در صورت تبعیت از تراز در عرض شیب زمین سبب کاهش سرعت جریان رواناب خواهند شد (اما اگر ردیف‌های کشت در امتداد بالا و پایین شیب باشند سبب تقویت تمرکز جریان و ایجاد آبکند می‌شوند). کشت بر روی برجستگی‌های ایجاد شده به‌موازات شیب حتی مؤثرتر می‌باشد. برجستگی‌ها باید برای حمل جریانات سنگین رواناب از مزرعه طراحی گردند (شکل ۱۲-۱۷ را مشاهده کنید).

در شیب‌های طولانی که در معرض فرسایش شیاری و ورقه‌ای می‌باشند، ممکن‌است مزارع به‌صورت نوارهای باریک در عرض شیب از گیاهان ردیفی مانند سیب‌زمینی و ذرت در تناوب با گیاهان علوفه‌ای و غلات دانه‌ریز طراحی شوند. آب نمی‌تواند به یک سرعت نامتعارف در نوارهای باریک گیاهان ردیفی برسد، نباتات علوفه‌ای و غلات دانه‌ریز رواناب را مهار می‌کنند. این نوع طراحی کشت نواری[2] نامیده شده و مبنای مهار فرسایش را در بسیاری از مناطق کشاورزی تپه‌ماهور را تشکیل می‌دهد (شکل۱۳-۱۷). این عملیات به‌منظور کاهش طول مؤثر شیب باید درنظر گرفته شوند.

[1] -Contour cultivation
[2] -Strip cropping

جدول ۷-۱۷ مثال‌هایی از مقدار C برای عامل پوشش و مدیریت. (عامل C بیانگر نسبت فرسایش خاک از یک نظام گیاهی خاص به نظامی است که در آن خاک به‌طور کامل فاقدپوشش باشد. به اثرات تاج‌پوشش، لاشبرگ سطحی (پس‌مانده‌های گیاهی) خاک‌ورزی و تناوب زراعی توجه کنید. عامل C وابسته به محل و شرایط خاص است و باید از اطلاعات محلی و یا رفتار رشد گیاهی و یا اقلیم و غیره محاسبه گردد. در ایالات متحده، ممکن‌است مقادیر خاص از برنامه رایانه‌ای RUSLE و یا از ادارات محلی سازمان حفاظت منابع طبیعی وزارت کشاورزی آمریکا، به‌دست آید.

پوشش گیاهی	شرایط و مدیریت	مقدار
گیاهان مرتعی و بوته‌های کوتاه، کمتراز یک متر	۷۵درصد تاج‌پوشش، فاقد پوشش سطحی	۰/۱۷
گیاهان مرتعی و بوته‌های کوتاه، کمتراز یک متر	۷۵درصد تاج‌پوشش، و۶۰درصدپوشش سطحی با لاشبرگ	۰/۰۳۲
بوته‌های خاردار در حدود ۲ متر ارتفاع	۲۵درصد تاج‌پوشش، بدون لاشبرگ	۰/٤
بوته‌های خاردار در حدود ۲ متر ارتفاع	۷۵درصد تاج‌پوشش، بدون لاشبرگ	۰/۲۸
درختان بدون زیراشکوب با ٤ متر ارتفاع	۷۵درصد تاج‌پوشش، بدون لاشبرگ	۰/۳٦
درختان بدون زیراشکوب با ٤ متر ارتفاع سقوط قطره	۷۵درصد تاج‌پوشش،٤۰ درصد پوشش لاشبرگ	۰/۰۹
درخت‌زارها با زیراشکوب مرتعی و دایم	۷۵درصد تاج‌پوشش،۱۰۰درصد پوشش لاشبرگ	۰/۰۰۳
درخت‌زارها با زیراشکوب مرتعی و دایم	۹۰درصد تاج‌پوشش،۱۰۰ درصد پوشش لاشبرگ	۰/۰۰۱
درخت‌زارها با زیراشکوب مرتعی و دایم	پوشش متراکم چمن	۰/۰۰۳
تناوب ذرت و لوبیا روغنی	شخم پاییزه، عملیات خاک‌ورزی سنتی، پس‌مانده‌های گیاهی برداشت شده	۰/۵۳
تناوب ذرت و لوبیا روغنی	خیش قلمی،عملیات خاک‌ورزی شخم-کشت حفاظتی با ۲۵۰۰کیلودرهکتار پس‌مانده‌های گیاهی بعداز کشت	۰/۲۲
تناوب ذرت و لوبیا روغنی	کشت بدون هیچ نوع عملیات خاک‌ورزی با ۵۰۰۰ کیلوگرم پس‌مانده‌های گیاهی بعد از کشت	۰/۰٦
تناوب ذرت- سویا - گندم – علوفه	شخم پاییزه با عملیات خاک‌ورزی سنتی، بقایا برداشت شده	۰/۲
تناوب ذرت- سویا - گندم – علوفه	عملیات خاک‌ورزی حفاظتی، شخم بهاره با خیش قلمی باkg/ha ۲۵۰۰ پس‌مانده‌های گیاهی در سطح پس از کشت	۰/۱۳
تناوب ذرت- سویا - گندم – علوفه	کشت بدون عملیات خاک‌ورزی، kg/ha با ۵۰۰۰ بقایای گیاهی در سطح پس از کشت	۰/۰۵
تناوب ذرت-یولاف- علف – علف	شخم سنتی بهاره قبل از کشت	۰/۰۵
تناوب ذرت-یولاف - علف – علف	کشت بدون عملیات خاک‌ورزی	۰/۰۳



شکل ۱۲-۱۷ پشته‌های تراز باید به‌دقت پیاده شده و دارای ارتفاع کافی برای نگهداری آب حتی در باران‌های شدید باشند. در این‌جا نگهداری سطحی به سرعت به رواناب تبدیل می‌شود

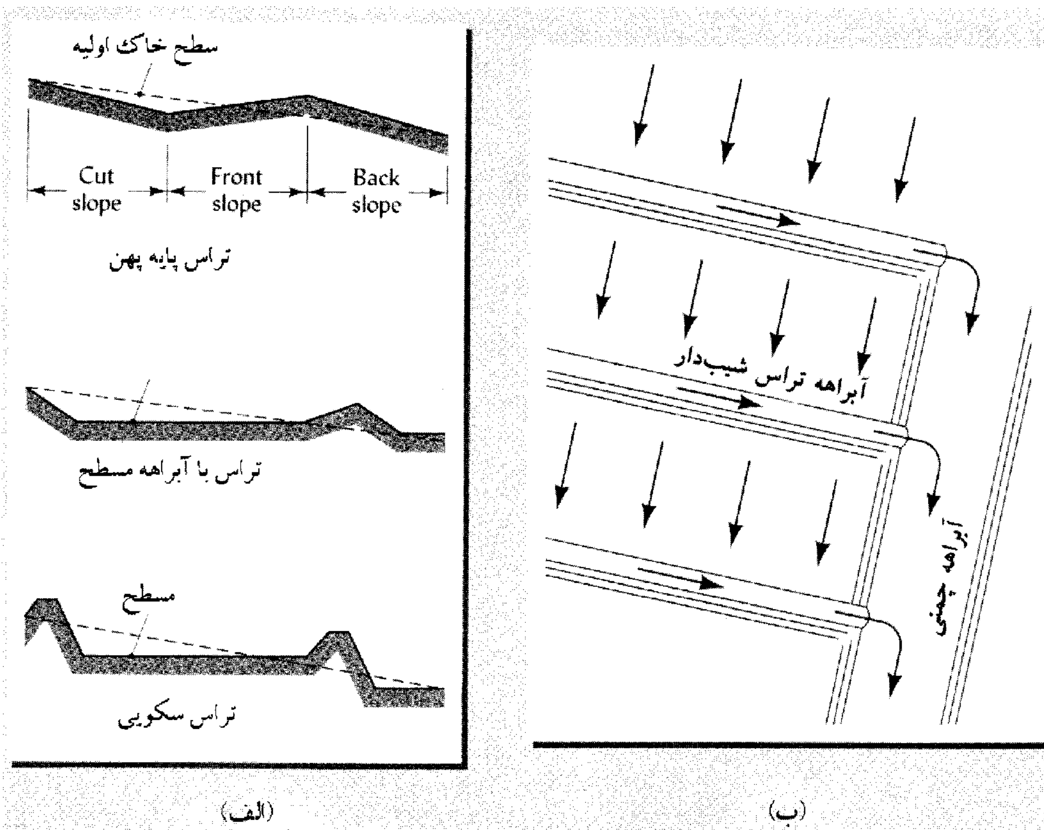
هنگامی نوارهای عرضی در امتداد خطوط تراز پیاده شوند، نظام کشت نواری تراز نامیده می‌شود. عرض نوارها عمدتاً بستگی به درجه‌ی شیب، نفوذپذیری اراضی و فرسایش‌پذیری خاک دارد. عرض نوار از ۳۰ متر تا ۱۵۰ متر معمول است. کشت نواری اغلب با نهرهای انحرافی و آبراهه‌ها در بین مزارع تلفیق می‌گردد. گیاهان چمنی استقراریافته در خط‌القعر بین اراضی ایجاد آبراهه‌ی چمنی[1] می‌کنند که می‌تواند رواناب را به‌طور مطمئن بدون ایجاد آبکند، به پایین شیب هدایت کند (شکل ۱۳-۱۷ را مشاهده کنید).



شکل ۱۳-۱۷ عکس هوایی مزرعه‌ای در ایالت کنتاکی که در آن کشت نواری تراز انجام شده و آبراهه چمنی (پیکان را مشاهده کنید) جریان آب را از اراضی زراعی تنظیم نموده و از فرسایش آبکندی جلوگیری می کند (عکس جای‌گذاری شده) یک آبراهه‌ی چمنی در حال کارکردن را نشان می‌دهد، که چگونه ریشه گیاهان چمنی دائمی می‌توانند در مقابل نیروی کنش آب مقاومت نموده، و آنرا بدون هر خطری از مزرعه خارج سازند.

سکوبندی– تراس‌سازی[2]: ایجاد انواع تراس‌ها سبب کاهش طول و درجه شیب مؤثر در یک دامنه می‌گردد (شکل۱۴-۱۷). تراس‌های سکویی[3] زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند که مهار کامل رواناب مانند مزارع برنج موردنظر باشد. وقتی زارعین از ماشین‌آلات بزرگ استفاده می‌کنند و ناچار به کشت‌وکار در تمام سطح اراضی در یک مزرعه باشند، تراس‌های پایه عریض[4] معمول می‌باشند. این تراس‌ها زمین اندکی و یا اصلاً زمینی را به هدر نداده و اگر به‌خوبی نگهداری شوند بسیارمؤثر می‌باشند. آب‌های جمع‌آوری شده در پشت هر تراس به‌آرامی درعرض مزرعه (به‌جای جریان درجهت شیب به‌طرف پایین) در آبراهه تراس با شیب ۰/۵درصد جریان می‌یابد. آبراهه تراس اغلب رواناب حاصل را به یک آبراهه چمنی هدایت می‌کند، که از آن‌جا آب به‌طرف پایین تپه به یک آبراهه، جوی و یا رودخانه روان می‌گردد.

[1] -Grassed water way
[2] -Terracing
[3] -Bench terraces
[4] -Broad base terrace



شکل ۱۴-۱۷ الف سه نوع تراس مورد استفاده در سرتاسر دنیا. تراس‌های پایه پهن امکان کشت سرتاسر مزرعه را فراهم ساخته و در ایالات متحده آمریکا به‌طور خیلی گسترده مورد استفاده می‌باشند. تراس‌های با آبراهه مسطح اجازه جابه‌جایی مقدار زیاد آب را بدون هر نوع فرسایش ممکن می‌سازند. تراس‌های سکویی سبب نگهداری آب در سطح زمین گردیده و به‌طور گسترده‌ای برای تولید برنج به‌کار می‌روند.
ب نمودار مهار رواناب از یک مزرعه به آبراهه‌ی تراس، و از آن‌جا به‌داخل آبراهه‌ی چمنی که از آن‌جا آب می‌تواند به یک نهر و یا رودخانه انتقال یابد.

نمونه‌های مقدار P[1] برای کشت‌وکار تراز و کشت نواری در درجات مختلف شیب در جدول۸-۱۷ آمده است. توجه داشته باشید که مقدارP با افزایش درجه‌ی شیب افزایش می‌یابد و برای کشت نواری این عدد کوچک است، که بیانگر اهمیت این عملیات در مهار فرسایش است. تراس‌بندی مقدارP را کاهش می‌دهد. برخلاف USLE، مدل RUSLE تعامل بین عملیات حمایتی و فاکتورهای فرعی مانند شیب و نفوذ آب را در محاسبات معمول می‌دارد. ۵ عامل USLE (K،R ، P،C،LS) راهیافت‌های متعددی را برای کنترل عملی فرسایش خاک ارائه نموده‌اند. یک نمونه از محاسبات در تابلو شماره‌ی ۱-۱۷ آمده است.

بیشتر از نصف خاک فرسایش‌یافته در آمریکا از کشت‌زارها و بقیه از جنگل‌ها، مراتع و مناطق ایجاد ساختمان حاصل می‌شود. حال توجه خود را به فناوری‌های متعدد مهار فرسایش، که مناسب این کاربری‌های مختلف اراضی می‌باشد، معطوف می‌داریم.

[1]- بسیاری از عملیات مهار فرسایش و یا روشهای مدیریتی که در اینجا در ارتباط با عوامل C و P بحث گردید، و یا در بقیه بخشهای این فصل مورد بحث قرار خواهند گرفت بعنوان بهترین عملیات مدیریتی Best Management Practices (BMPs) در طرح آب تمیز در آمریکا مورد توجه قرار می‌گیرند. طرح، BMP را چنین تعریف کرده است : انواع عملیات و روشهای بهینه برای کاهش ویا حذف آلودگی آب از فعالیتهای کاربری اراضی می‌باشند

تابلو ۱-۱۷ محاسبات هدررفت خاک قابل‌انتظار با استفاده از معادله‌ی USLE

برنامه‌ی نرم‌افزاری RUSLE برای محاسبه هدررفت فرسایش ازیک نظام زراعی حساس در منطقه مورد نظر طراحی شده است. اصول موجود در هردو مدل USLE و RUSLE می‌تواند با انجام محاسباتی با استفاده در مدل USLE و عوامل همراه آن مورد بررسی قرارگیرد.
توجه داشته باشید که عوامل موجود در USLE به‌صورت حاصلضرب بوده و بنابراین، اگر بتوان هر یک را بـه صـفر نزدیـک کـرد، میزان هدررفت(A) به نزدیکی صفر خواهد رسید.

برای نمونه، فرض کنید نقطه‌ای در ایالت ایوا با خاک لوم سیلتی مارشال و شیب متوسط ٤٪ و طول شیب ۵۰ متر قرار گرفته، و زمین در خاک‌ورزی فاقد پوشش درحال آیش است. شکل ۱۰-۱۷ نشان می‌دهد که عامل R در این منطقه حدود ۱۵۰ واحد در نظام انگلیسی و یا ۲۵۵۰ (۱۷×۱۵۰) در نظام SI می‌باشد. میزان K برای خاک لوم سیلتی مارشال در ایالت ایـوا مرکـزی ۰/۰٤٤ اسـت (جـدول۴-۱۷) و عامل پستی‌وبلندی مطابق جدول(۵-۱۷) ۰/۷۱ (نسبت بالای فرسایش شیاری به بین‌شیاری در خاک فاقد پوشـش) مـی‌باشـد. ازآن‌جاکـه پوشش و یا هر نوع مدیریت دیگر برای ممانعت از فرسایش وجود ندارد، عامل C ۱ می‌باشد. اگر فرض کنیم عملیات خاک‌ورزی به‌طرف بالا و پایین درحال انجام باشد مقدار P نیز ۱ خواهد بود. بنابراین، هدررفت پیش‌بینی‌شده را می‌توان با استفاده از رابطه‌ی جهانی فرسایش (A=RKLSCP) برآورد کرد که عبارتست از:

A = (۲۵۵۰) ×(۰/۰٤٤)×(۰/۷۱)×(۱)×(۱) =۷۹/۷ مگاگرم در هکتار در سال

اگر تناوب زراعی شامل ذرت – سویا – علوفه و نظام عملیات خاک‌ورزی حفاظتی (شخم بهاره با خیش قلمی) مورد اسـتفاده قـرار می‌گرفت، مقدار قابل‌ملاحظه‌ای پس‌مانده‌های گیاهی در سطح خاک باقی می‌ماند. دراین شرایط عامـل C ممکـن‌اسـت بـه ۰/۱۳ برسـد (جدول ۷-۱۷). همین‌طور اگر خاک‌ورزی و کشت در امتداد تراز انجام گردد، مقدار P به ۰/۵ کاهش خواهد یافت (جدول ۸-۱۷). اگـر تراس‌های با خروجی‌های باز به فاصله‌ی هر ٤۰ متر، پیاده گردند مقدارP نیز می‌تواند حتی به‌مقدار کمتری ۰/٤(۰/۸×۰/۵) کـاهش یابـد. به‌علاوه با وجود زراعت بر روی زمین نسبت فرسایش شیاری به بین‌شیاری متوسط بوده و مقدارLS با توجه به بخش میانی جدول ۵-۱۷، ۰/٦۲ خواهد بود. با این مقادیر میزان فرسایش عبارتست از :

A =(۲۵۵۰)(۰/۰٤٤)(۰/۶۲)(۰/۱۳)(۰/٤) = ۰/٦ × ۳/٦ مگاگرم در هکتار در سال

واحد عوامل برای انجام محاسبه عبارتست از:

$$\frac{Mg}{ha.yr} = \frac{(Mj.mm)}{(ha.h.yr)} \times \frac{(Mg.ha.h)}{(ha.Mj.mm)}$$

P و C و LS فاقد واحد می‌باشند

مزایای پوشش خوب، مدیریت و عملیات حمایتی آشکار است. ارقام ارائه‌شده نمونه‌ای از مفیـد بـودن USLE را ارائـه مـی‌دهنـد. محاسبات برای هر موقعیت خاص قابل‌انجام است. در آمریکا ارقام مربوط به هر فاکتور که می‌تواند در برآورد فرسایش در محل خاصـی به‌کار رود، معمولاً در ادارات دولتی خدمات حفاظت موجود است. عوامل لازم نیز در نرم‌افزار RUSLE منظور شده‌اند.

جدول شماره ۸-۱۷ عامل P برای کشت‌وکار تراز و کشت نواری در شیب‌های مختلف و عامل فرعی تراس‌بندی در فواصـل مختلف تراس‌بندی. حاصلضرب عوامل شخم تراز و یا کشت نـواری بـا فـاکتور فرعـی تـراس مقـدار P را بـرای اراضـی تراس‌بندی نشان می‌دهد.

شیب درصد	فاکتورP کشت‌وکار تراز	فاکتورP کشت نواری	فاکتور فرعی تراس P		
			فاصله تراس (متر)	خروجی بسته	خروجی باز
۱-۲	۰/٦	۰/۳	۳۳	۰/۵	۰/۷
۳-۸	۰/۵	۰/۲۵	۳۳-٤۲	۰/٦	۰/۸
۹-۱۲	۰/٦	۰/۳	٤۳-٥٤	۰/۷	۰/۸
۱۳-۱٦	۰/۷	۰/۳٥	٥٥-٦۸	۰/۸	۰/۹
۱۷-۲۰	۰/۸	۰/٤	٦۹-۹۰	۰/۹	۰/۹
۲۱-۲٥	۰/۹	۰/٤٥	۹۰	۱	۱

۶-۱۷ عملیات خاک‌ورزی حفاظتی[1]

درطول قرن‌های متمادی عملیات کشاورزی مرسوم در سراسر جهان سبب انجام خاک‌ورزی گسترده بوده است که باعث باقی‌ماندن خاک فاقد پوشش بدون محافظت در مقابل صدمات فرسایش می‌شود. در طول سه دهه‌ی گذشته، دو پیشرفت فناورانه به بسیاری از زارعین امکان داده است که با مدیریت خاک‌های خود در نظام کاهش عملیات خاک‌ورزی و یا نظام عدم انجام عملیات خاک‌ورزی از عملیات خاک‌ورزی مرسوم اجتناب ورزند. اول پیشرفت به‌دست آمده در ارائه‌ی علف‌کش‌ها می‌باشد که علف‌ها را به‌عوض روش مکانیکی به‌طورشیمیایی می‌کشند. دوم ابداع ماشین‌آلاتی به‌وسیله‌ی زارعین و کارخانه‌های ساخت ادوات می‌باشد که می‌تواند بذر گیاهان را حتی درصورت پوشش خاک به‌وسیله‌ی پس‌مانده‌های گیاهی بکارند. این پیشرفت‌ها سبب حذف دو علت عمده‌ی انجام عملیات خاک‌ورزی به‌وسیله‌ی زارعین گردیده است.

علاقمندی زارع به نظام عملیات خاک‌ورزی کاهش یافته[2] از آن‌جاکه مشخص شده است که این نظام سبب تولید عملکرد مساوی و یا بیشتر، ضمن صرفه‌جویی در زمان و سوخت، پول و حفظ خاک می‌باشد، ارتقا خواهد یافت. عامل آخری یعنی حفظ خاک سبب کسب نام عملیات خاک‌ورزی حفاظتی در این نظام شده است.

نظام‌های عملیات خاک‌ورزی حفاظتی

درحالی‌که امروزه نظام‌های مختلف عملیات خاک‌ورزی حفاظتی درحال انجام است (جدول۹-۱۷)، همگی به‌طور کلی حاکی از باقی‌گذاشتن مقادیر قابل توجه از پس‌مانده‌های آلی در سطح خاک بعد از عملیات کاشت می‌باشند. به‌خاطر داشته باشید که خاک‌ورزی مرسوم اول شامل شخم گاوآهن برگردان‌دار است (شکل ۱۵-۱۷ الف) که به‌طور کلی علف‌هرزها و پس‌مانده‌های گیاهی را مدفون نموده و به‌دنبال آن یک تا سه بار عبور دندانه برای شکستن کلوخه‌های بزرگ، و سپس کشت محصول، و همچنین چندین بار عملیات دندانه‌زدن بین ردیف نباتات برای ازبین‌بردن علف هرز انجام می‌شود. هربار عبور ادوات خاک‌ورزی سبب تازه عریان‌شدن خاک و همچنین ضعیف‌گشتن ساختمان خاک می‌گردد، که سبب می‌شود پایداری خاک در مقابل فرسایش کاهش یابد.

نظام‌های مختلف خاک‌ورزی از نظام‌های کاهش عملیات اضافی خاک‌ورزی تا نظام‌های بدون عملیات خاک‌ورزی که به‌غیراز اندک به‌هم‌زدن خاک به‌مقدار چند سانتی‌متر در هنگام بازکردن شکاف بذرکاری در داخل پس‌مانده‌های گیاهی، از هیچ نوع عملیات خاک‌ورزی استفاده نمی‌کند متغیر می‌باشند (شکل ۱۵-۱۷ ج).

شخم با گاوآهن برگردان‌دار برای باقی‌گذاشتن زمین به‌صورت تمیز که فاقد پس‌مانده‌های گیاهی سطحی می‌باشد، طراحی شده است. در مقابل نظام‌های خاک‌ورزی حفاظتی مانند خیش قلمی (شکل ۱۵-۱۷ ب)، سبب به‌هم‌زدن خاک شده اما پس‌مانده‌های گیاهی را به‌طور نسبی با خاک مخلوط کرده و بیشتر از ۳۰ درصد آن‌ها را در سطح خاک باقی می‌گذارد. خاک‌پوش کلشی[3]، که اثرات حفاظت آب آن در فصل‌های گذشته روشن گردید، نمونه‌ی دیگری از عملیات خاک‌ورزی حفاظتی است. شخم پشته‌ای[4] یک نظام خاک‌ورزی حفاظتی است که در آن گیاهان در راس یک برجستگی ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر کشت می‌شوند. در این روش حدود ۳۰ درصد پوشش خاک نگهداری گشته، و برجستگی‌ها تا اندازه‌ای برای کشت خراش داده شده، سپس به‌وسیله‌ی عملیات خاک‌ورزی کم‌عمق برای مبارزه با گیاهان هرز برجستگی بازسازی می‌شود.

در نظام بدون خاک‌ورزی[5] انتظار داریم که۵۰ تا ۱۰۰ درصد سطح خاک پوشیده باقی بماند (جدول۱۰-۱۷). نظام بدون عملیات خاک‌ورزی دایم با مدیریت خوب در مناطق مرطوب شامل گیاهان پوششی در طول زمستان و گیاهان دارای پس‌مانده‌های گیاهی فراوان در تناوب می‌باشد. این نظام‌ها سبب ایجاد پوشش کامل خاک در تمام مواقع شده و سبب ایجاد لایه‌های آلی سطحی خاک تا اندازه‌ای شبیه لایه‌های سطحی است که در خاک‌های جنگلی یافت می‌شوند.

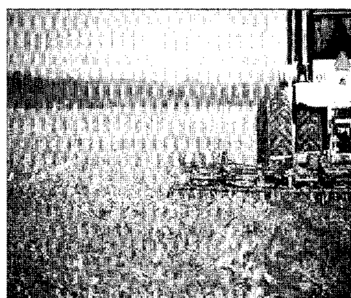
---
[1] -Conservation tillage
[2] -Reduced tillage
[3] -Stubble mulching
[4] -Ridge plowing
[5] -No Tillage

نظام‌های خاک‌ورزی حفاظتی معمولاً سبب ایجاد عملکردی مساوی و یا بیشتر از نظام خاک‌ورزی معمول می‌شوند به‌شرط آن‌که خاک دارای زه‌کشی ناقص نبوده و در منطقه‌ای خنک قرار نگرفته باشد. هرچند درحین گذار از خاک‌ورزی مرسوم به نظام بدون خاک‌ورزی میزان عملکرد برای چندین سال به دلایلی چند که در مباحث فرعی زیر تشریح شده‌اند اندکی کاهش می‌یابد.

جدول ۹-۱۷ طبقه‌بندی کلی نظام‌های مختلف خاک‌ورزی حفاظتی(تمام نظام‌ها حداقل ۳۰ درصد بقایای محصول را در سطح خاک نگهداری می‌کنند)

نظام خاک‌ورزی	عملیات موجود
نبود عملیات (No-till)	در خاک به‌هم‌نخورده قبل از کشت بستر بذر در عرض ۷/۵ – ۲/۵ سانتی‌متر ایجاد شده و مبارزه با علف‌های هرز با علف‌کش انجام می‌شود
خاک‌ورزی پشته‌ای Ridge till (till , plant)	در خاک به‌هم‌نخورده، کشت در پشته‌هایی که ۱۵ – ۱۰ سانتی‌متر بلندتر از وسط ردیف‌هاست انجام می‌پذیرد. بقایا یا کنار زده شده و یا در ۳/۱ سطح خاک با خاک زیری مخلوط می‌شوند. از علف‌کش و عملیات شخم و شیار برای مبارزه با علف‌های هرز استفاده می‌شود
خاک‌ورزی نواری Strip till	خاک به‌هم‌نخورده قبل از کشت. عملیات خاک‌ورزی در ردیف‌های کم‌عرض کم‌عمق با استفاده از دندانه‌ای دوار (Rotary tiller) و یا اسکنه ردیفی(In-row chisel) انجام می‌شود. در ۳/۱ سطح خاک در هنگام کشت خاک‌ورزی می‌گردد. علف‌کش و دندانه برای مبارزه با علف‌های هرز مورد استفاده قرار می‌گیرند.
خاک‌ورزی خاک‌پوش Mulch till	سطح خاک قبل از کشت به‌وسیله‌ی عملیات خاک‌ورزی به‌هم زده می‌شود، اما حداقل ۳۰٪ پس‌مانده‌های گیاهی در رو و یا در نزدیکی سطح خاک باقی می‌ماند. وسایلی مانند اسکنه (Chisel)، دندانه‌ی مزرعه‌ای، خاک‌ورز بشقابی و پنجه‌غازی در این روش به‌کار می‌رود خاک‌پوش کلشی[1] از علف‌کش‌ها و دندانه برای ازبین‌بردن علف‌های هرز استفاده می‌شود.
خاک‌ورزی کاهش‌یافته Reduced tillage	به هر نوع نظام کشت‌وکار دیگر؛ که حداقل ۳۰ درصد بقایا را در روی سطح نگهداری کند اطلاق می‌گردد.


(ج)


(ب)

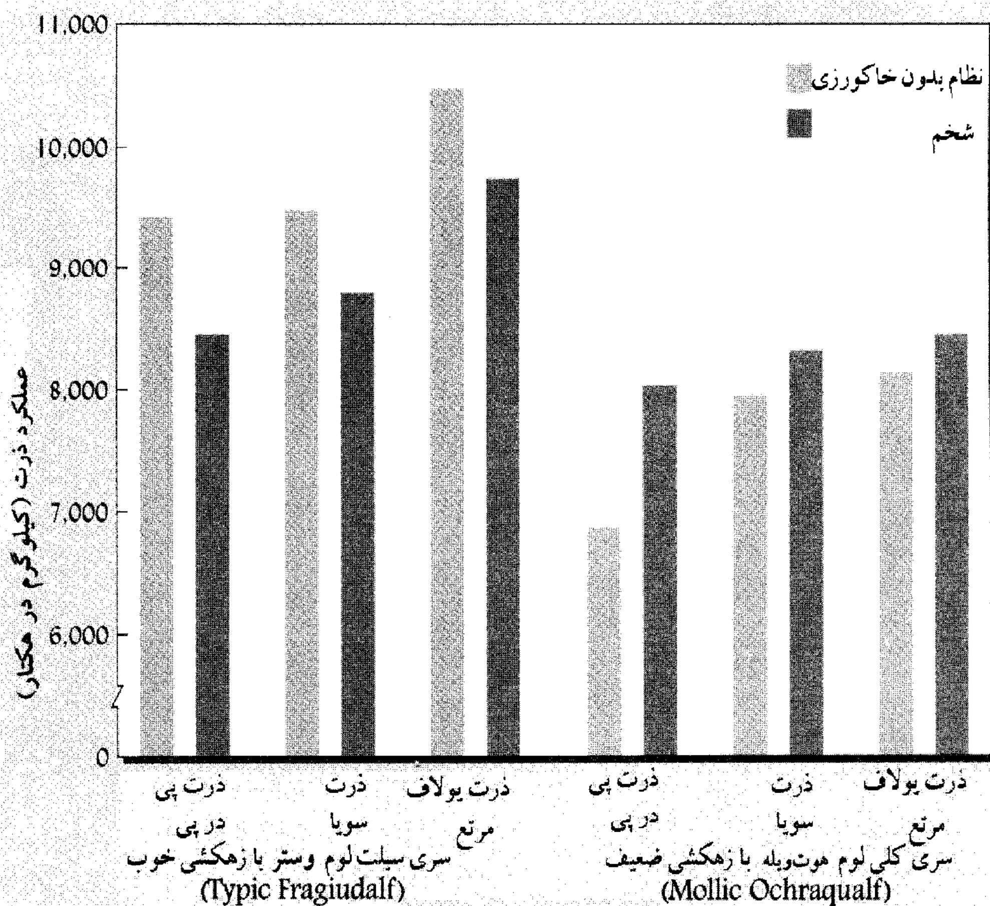

(الف)

شکل ۱۵-۱۷ عملیات خاک‌ورزی مرسوم و حفاظتی. (الف): در یک خاک‌ورزی حفاظتی گاوآهن برگرداندار افق بالایی خاک را بر می‌گرداند، تمام پس‌مانده‌های گیاهی را دفن کرده و یک سطح خاک لخت به‌وجود می‌آورد. (ب)خیش قلمی یک نوع از ادوات خاک‌ورزی حفاظتی سبب به‌هم‌زدن خاک شده اما مقدار زیادی از پس‌مانده‌های گیاهی در روی سطح خاک باقی می‌ماند.(ج)در نظام بدون خاک‌ورزی یک نبات مستقیماً در داخل یک زراعت پوششی و یا پس‌مانده‌های زراعت قبل فقط با به‌هم‌زدن نوار باریکی مستقیماً کشت می‌گردد. نظام بدون خاک‌ورزی عملاً تمام پس‌مانده‌های گیاهی را در سطح خاک باقی می‌گذارد و حدوداً ۱۰۰٪ پوشش ایجاد کرده و تقریباً هدررفت فرسایش را حذف می‌کند. در این‌جا سویا در داخل یک زراعت پوششی که با یک علف‌کش برای ایجاد خاک‌پوش سطحی از بین می‌رود کشت می‌گردد.

[1] -Stubble mulch

جدول ۱۰-۱۷ اثرات نظام خاک‌ورزی در نبراسکای آمریکا بر درصد اراضی که با پس‌ماندها پوشش یافته‌اند.توجه داشته باشید که گاوآهن برگردان‌دار معمول اساساً پوششی فراهم نمی‌کند، درحالی‌که نظام نبود عملیات خاک‌ورزی و یا خاک‌ورزی پسته‌ای بهترین پوشش را فراهم می‌سازد.

نظام عملیات خاک‌ورزی		تعداد مزارع	درصد مزارع با بقایای بیش از			
			۱۵	۲۰	۲۵	۳۰
گاوآهن برگردان‌دار	Moldboard	۳۳	۳	۰	۰	۰
خیش قلمی	Chisel	۲۰	٤۰	۱۵	۵	۰
بشقاب	Disk	۱۶۵	۴۰	۲۰	۹	۴
دندانه‌ی مزرعه	Farm cultivator	۱۳	۴۶	۲۳	۰	۰
خاک‌ورزی پسته‌ای	Ridge till	۲	۱۰۰	۵۰	۵۰	۰
نبود عملیات	No-till	۳	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
تمام نظام‌ها		۲۳٦	۳٦	۱۸	۹	۴

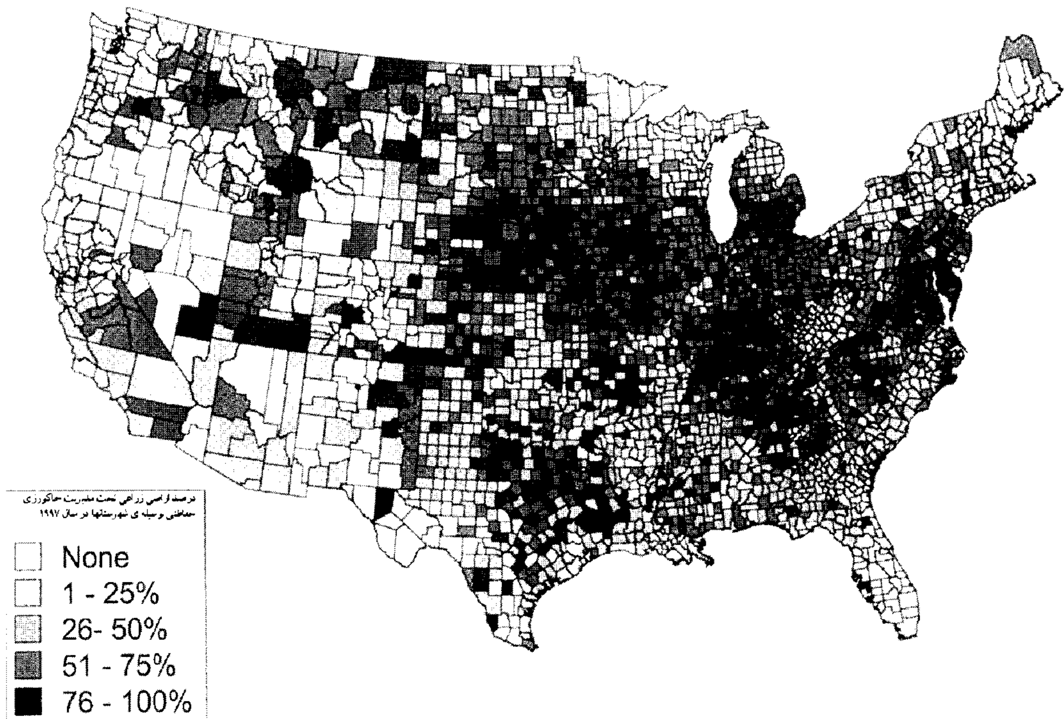


شکل ۱۶-۱۷ اثر نظام‌های مختلف خاک‌ورزی بر عملکرد ذرت در تناوب‌های مختلف با زه‌کشی خوب و زه‌کشی ضعیف، نظام عملیات خاک‌ورزی حفاظتی در خاک‌هایی با زه‌کشی خوب برتری داشته، ولی در خاک‌هایی با زه‌کشی ضعیف عملکرد کمتری داشته است. اطلاعات حاصل متوسط ۵ سال است.

پذیرش به‌وسیله‌ی کشاورزان

در سال‌های اخیر خاک‌ورزی حفاظتی به‌طور مداوم رواج یافته و در حدود ۵/[۲] اراضی کشور آمریکا مورد استفاده می‌باشد. متخصصین حفاظت خاک پیش‌بینی می‌کنند که در دهه‌ی آینده ۷۵ درصد اراضی زراعی در آمریکا با نوعی عملیات خاک‌ورزی حفاظتی مدیریت خواهند شد. هم‌اکنون ۸۰ درصد و یا بیشتر اراضی زراعی در چند منطقه‌ی محدود در آمریکا به‌وسیله‌ی عملیات حفاظتی مدیریت می‌شوند (شکل ۱۷-۱۷).

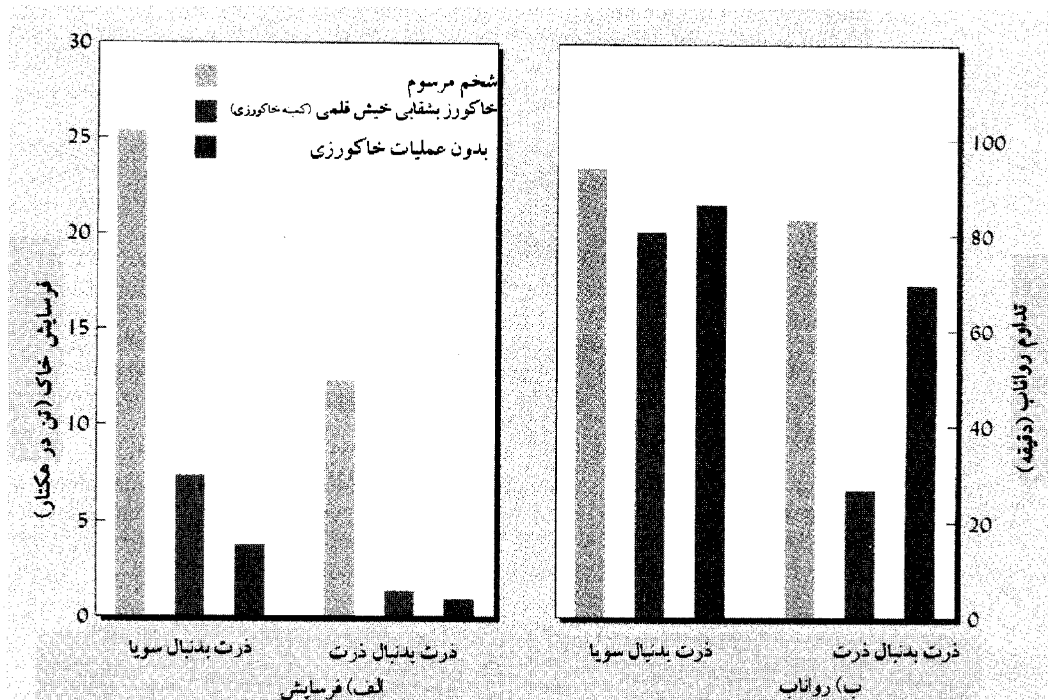
نظام‌های نبود عملیات خاک‌ورزی به‌خصوص تقریباً در تمام مناطق کشور توزیع یافته و حال به‌صورتی تقریباً در نصف سطح تمام اراضی تحت عملیات خاک‌ورزی حفاظتی مدیریت می‌شود. نظام نبود عملیات به‌طور مداوم در بعضی از مزارع در شرق آمریکا از سال ۱۹۷۰ (۲۰ تا ۳۰ سال بدون هر نوع خاک‌ورزی دیگر) مورد استفاده بوده است. نظام نبود عملیات و سایر نظام‌های خاک‌ورزی حفاظتی همچنین در سایر مناطق جهان مورد استفاده قرار گرفته‌اند. یکی از مثال‌های قابل‌توجه گسترش نظام نبود عملیات در جنوب برزیل است. هزاران زارع کم‌نسق دارای زراعت سویا و یا ذرت در این منطقه به‌وسیله‌ی آموزش و همراهی دولت حمایت شده و به‌طور موفقیت‌آمیزی نظام‌های نبود عملیات خاک‌ورزی متکی به گیاهان پوششی را با استفاده از نیروی کشش دامی و یا تراکتورهای کوچک تطابق داده‌اند.



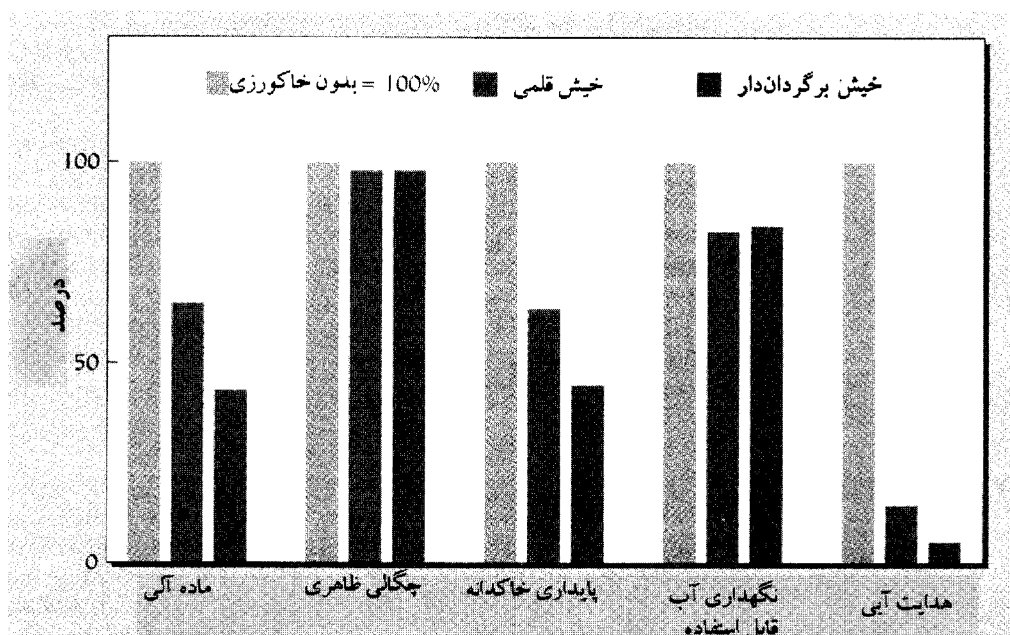
شکل ۱۷-۱۷ درصد استفاده از عملیات شخم حفاظتی در مناطق مختلف آمریکا در سال ۱۹۹۷. توجه کنید در بعضی مناطق بیشتر از ۴/[۳] اراضی زراعی با استفاده از نظام‌های حفظ خاک مدیریت می‌شوند. برروی‌هم، ۴۶٪ اراضی زراعی با خاک‌ورزی حفاظتی مدیریت می‌شوند

مهارکردن فرسایش به‌وسیله‌ی نظام عملیات خاک‌ورزی حفاظتی

از آغاز برنامه‌های نظام خاک‌ورزی حفاظتی صدها آزمایش مزرعه‌ای نشان داده‌اند که این نظام‌های خاک‌ورزی امکان فرسایش بسیار کمتری را درمقایسه با شخم سنتی دارند. جریان رواناب سطحی نیز کاهش یافته، اما تفاوت به‌اندازه فرسایش‌خاک نمی باشد(شکل۱۸-۱۷). این اختلافات در مقدار بسیار کمتر عامل C، که به نظام خاک‌ورزی حفاظتی تعلق یافته تجلی می‌کند (جدول ۷-۱۷ را مشاهده کنید). ارزش مهارکردن فرسایش با استفاده از پوشش سطحی دست‌نخورده در فصل قبل تشریح گردید. نظام خاک‌ورزی حفاظتی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای سبب کاهش هدررفت عناصر غذایی حل‌شده در رواناب، و یا چسبیده به رسوب می‌شود (جداول ۲-۱۴ و ۲-۱۶ را مشاهده کنید).



شکل ۱۸-۱۷ اثرات نظام‌های خاک‌ورزی بر فرسایش خاک و رواناب از کرت‌های تحت کشت ذرت در تناوب با ذرت، و در تناوب با سویا در ایالت ایلی‌نوی آمریکا. فرسایش خاک براثر بارندگی به‌طور شگفت‌آوری در نظام عملیات خاک‌ورزی حفاظتی کاهش یافت. بیشترین کاهش مدت زمان جریان رواناب در نظام حداقل خاک‌ورزی(خاک‌ورزی بشقابی-خیش قلمی) در تناوب ذرت - ذرت صورت گرفت. گروه بزرگ خاک کرت‌های طرح آزمایشی Typic Argiudoll و سری Catlin siltloam با ۵٪ شیب و عملیات در جهت شیب(بالا و پایین) در اوایل بهار انجام گرفت.



شکل ۱۹-۱۷ اثرات قابل مقایسه ۳ نظام عملیات خاک‌ورزی طی ۲۸ سال بر ماده‌ی آلی خاک و تعدادی از خصوصیات فیزیکی یک خاک الفی‌سول در ایالت ایداهو آمریکا. ارقام مربوط به نظام بدون عملیات ۱۰۰ فرض شده و ارقام دو نظام دیگر درمقایسه آمده‌اند، وزن مخصوص ظاهری در هر سه نوع عملیات حدوداً یکسان بوده است، اما در تمام خصوصیات دیگر، نظام بدون عملیات خاک‌ورزی عملاً از دو نظام دیگر مفیدتر بوده است. مخصوصاً هدایت آبی اشباع در نظام بدون عملیات خاک‌ورزی بالاست. اطلاعات از محبوبی و همکاران ۱۹۹۳

اثر بر روی ویژگی‌های خاک

هنگامی‌که مدیریت خاک از خاک‌ورزی شخم‌وشیار به خاک‌ورزی حفاظتی (به‌خصوص نظام نبود خاک‌ورزی) مبدل گردد، خصوصیات مختلف عمدتاً به‌طور مطلوب تحت تأثیر قرار خواهند گرفت. تغییرات در چند سانتی‌متر فوقانی خاک بسیار برجسته خواهد بود. معمولاً بیشترین تغییرات در نظام‌هایی که پس‌مانده‌های گیاهی بیشتری را تولید نموده (به‌خصوص ذرت و غلات دانه‌ریز در مناطق مرطوب) و سبب نگهداری اکثر پوشش پس‌مانده‌های گیاهی و کمترین به‌هم‌خوردن خاک شود رخ خواهد داد. از آن‌جاکه بسیاری از این تغییرات در سایر فصول این کتاب تشریح خواهند شد، توضیحات در این‌جا به اختصار می‌آیند.

خصوصیات فیزیکی : تخلخل درشت و خاکدانه‌ای بودن (بخش‌های ۷-٤ و ۸-٤) با تجمع ماده‌ی آلی فعال و استقرار کرم‌های خاکی و سایر موجودات خاکزی افزایش می‌یابد. نفوذ آب و زه‌کشی داخلی، و همین‌طور ظرفیت نگهداری آب خاک افزایش خواهد یافت. بعضی از این اثرات در شکل ۱۹-۱۷ تشریح شده‌اند. افزایش ظرفیت نفوذ خاک‌ها تحت مدیریت عملیات کشت‌وکار بدون خاک‌ورزی معمولاً بسیار مطلوبست، اما در بعضی موارد سبب آبشویی سریع‌تر نیترات‌ها و سایر مواد شیمیایی محلول در آب می‌شود. خاک‌ها دارای پوشش پس‌مانده‌های گیاهی معمولاً خنک‌تر و خیس‌تر می‌باشند (بخش ۵-۶ و ۱۲-۷ را مشاهده کنید). این مسأله در فصول گرم سال مطلوب بوده، اما برای رشد اولیه گیاهان در بهارهای خنک در مناطق معتدل زیان‌بار است.

در مناطق خنک و خاک‌ها با محدودیت زهکشی ممکن است با استفاده از عملیات شخم حفاظتی، به‌دلیل آن‌که شرایط خاک مرطوب‌تر و خنک‌تر ازخاک‌ورزی سنتی است، عملکرد پایین باشد. عملکرد پایین مقبولیت خاک‌ورزی حفاظتی را در این مناطق کاهش داده است، هرچند عملیات خاک‌ورزی محدود در ردیف کشت (بخش ۱۲-۷ را مشاهده کنید) و یا خاک‌ورزی پشته‌ای از نظام‌های خاک‌ورزی حفاظتی هستند که اجازه می‌دهند حداقل بخشی از خاک سریع‌تر گرم شده و این مسائل را مرتفع کنند.

خصوصیات شیمیایی: نظام‌های بدون عملیات خاک‌ورزی سبب افزایش ماده‌ی آلی چند سانتی‌متر فوقانی خاک (شکل ۱۹-۱۷ و ۲۴-۱۲) می‌شوند. طی ٤ تا ٦ سال اولیه‌ی مدیریت بدون عملیات خاک‌ورزی، تجمع ماده‌ی آلی سبب عدم تحرک عناصر غذایی، به‌خصوص نیتروژن خواهد شد. این مسأله در تضاد با معدنی‌شدن عناصر غذایی است که درصورت کاهش میزان ماده‌ی آلی در نظام خاک‌ورزی معمول بروز خواهد کرد. نهایتاً بعد از آن‌که میزان ماده‌ی آلی در سطح جدید بالاتر تثبیت گردید، میزان معدنی‌شدن عناصر غذایی در نظام بدون عملیات خاک‌ورزی افزایش خواهد یافت. ممکن‌است میزان رطوبت زیادتر و میزان اکسیژن کمتر سبب تقویت نیترات‌زدایی[1] گردد (بخش ۹-۱۳). ممکن‌است در بعضی مواقع این فرایند نیاز به دادن مقادیر بالاتر کود شیمیایی را برای کسب عملکرد بهینه در سال‌های اول مدیریت نظام بدون عملیات خاک‌ورزی سبب گردد.

عناصر غذایی در نظام بدون عملیات خاک‌ورزی تمایل دارند که در چند سانتی‌متر بالایی خاک براثر اضافه‌کردن پس‌مانده‌های گیاهی، کود حیوانی، کود شیمیایی و آهک در سطح تمرکز یابند. گرچه تحقیقات نشان داده‌اند به‌دلیل وجود خاک‌پوش سطحی، ریشه‌ی گیاهان (همانند ریشه‌ی درختان در جنگل‌ها در محیط دست‌نخورده) در اخذ عناصر غذایی از لایه‌های سطحی خاک با مشکلی روبرو نمی‌گردند. مطبق‌بودن خاک را در نمونه‌برداری برای آزمایش حاصلخیزی باید در نظر داشت (بخش ۱۸-۱۶ را مشاهده کنید).

درصورت عدم انجام عملیات خاک‌ورزی برای مخلوط‌کردن خاک، اثرات اسیدی‌شدن مربوط به اکسایش نیتروژن، تجزیه‌ی پس‌مانده‌های گیاهی و نزول بارش در چند سانتی‌متر فوقانی خاک تمرکز یافته، و اسیدیته بسیار سریع‌تر از عمق لایه شخم در نظام خاک‌ورزی مرسوم کاهش خواهد یافت. با این اسیدیته در مناطق مرطوب باید با مصرف مواد آهکی در خاک مقابله کرد.

اثرات زیستی: فراوانی، فعالیت و تنوع ریزجانداران خاک در نظام‌های خاک‌ورزی حفاظتی، که مشخصه‌ی آن‌ها داشتن پس‌مانده‌های گیاهی زیاد در سطح خاک و حداقل به‌هم‌خوردن خاک است، در بیشترین مقدار می‌باشد (بخش ۵-۱۱ را مشاهده کنید). کرم‌های خاکی و قارچ‌ها، که هر دو برای ساختمان خاک مهمند، به‌ویژه در وضعی بهتر قرار می‌گیرند (جدول ۷-۱۱ را مشاهده کنید).

---

[1]- Denitrification

۷-۱۷ موانع گیاهی[1]

ردیف‌های باریک پوشش دائمی (اغلب گیاهان چمنی و بوته‌ها) که برروی خطوط تراز کشت شده باشند، می‌توانند برای کاهش سرعت رواناب، به‌دام‌اندازی رسوب و نهایتاً ایجاد سکوهای طبیعی و یا زنده مورد استفاده قرار گیرند. در بعضی مواقع، گیاهان گرمسیری (گونه‌های دارای ریشه عمیق و با مقاومت در مقابل خشکسالی، (که *ویتورگراس*[2] نامیده می‌شوند) به‌عنوان جایگزین مناسبی برای سکوهای سازه‌ای نویدبخش می‌باشند.

بوته‌های ویتور با ریشه عمیق و متراکم خود می‌توانند ذرات خاک را از درون آب گل آلود جدا سازند این رسوبات در بخش بالایی موانع گیاهی تراکم یافته و به مرور زمان سبب ایجاد یک سکوی واقعی با ارتفاعی بیش از یک متر نسبت به سطح خاک در پایین‌دست موانع گیاهی می‌گردند (شکل ۲۰-۱۷). ویتورگراس مخصوصاً برای زنده‌مانی در شرایط خیلی نامساعد بسیار مناسب است، زیرا ریشه‌های آن می‌توانند برای کسب آب به قسمت‌های عمیق خاک نفوذ یابند و برگ‌های آن نیز برای احشام قابل‌خوردن نمی‌باشند. سایر گیاهان چمنی به‌طور دو منظوره برای تغذیه احشام نیز مورد استفاده می‌باشند، اما این گیاهان آب بیشتری را از منطقه انتشار ریشه‌ی محصولات زراعی مجاور خارج می‌سازند.

تحقیقات برای ارزیابی نظام‌های متعدد موانع گیاهی که در آن گیاهان چمنی و درختان توأم می‌باشند درحال انجام است، این نظام‌ها ممکن‌است علاوه بر مهار فرسایش منافع زیادی (میوه، هیزم، علوفه و خاک‌پوش غنی از عناصر غذایی) را در بر داشته و کشاورزانی را که باید نیروی کار و منابع محدود مالی خود را صرف ایجاد عملیات حفاظتی کنند، بیشتر مجذوب کند. فناوری‌های حفاظتی (همانند گیاهان پوششی زمستانه که در بخش ٤-١٦ مورد بحث قرار گرفت) سبب بهبود تولید محصولات در کوتاه‌مدت، و همین‌طور حفظ کیفیت خاک و آب در بلندمدت، خواهد شد. منافع حاصل از کاهش فرسایش و افزایش عملکرد محصولات ناشی از چند نوع عملیات مبارزه با فرسایش در جدول ۱۱-۱۷ خلاصه شده است.

جدول ۱۱-۱۷ دامنه‌ی تأثیر، خاک‌پوش، کشت‌وکار تراز، و پرچین‌های چمنی تراز در فرسایش و عملکرد محصولات

عملیات	کاهش فرسایش (درصد)	افزایش عملکرد (درصد)
خاک‌پوش گیاهی	۹۸-۷۸	۱۸۸-۷
کشت‌وکار تراز	٨٦-٥٠	٦٦-٦
پرچین چمنی تراز	۷۰-٤۰	۷۳-۳۸

۸-۱۷ مهارکردن فرسایش آبکندی و رُمبش[3]

آبکندها در خاک‌هایی که به‌وسیله‌ی جنگل‌ها و یا گیاهان چمنی متراکم حفاظت شده باشند به‌ندرت تشکیل می‌شوند، اما در بیابان‌ها، اراضی مرتعی و درخت‌زارها، که در آن‌ها خاک به‌طور نسبی دارای پوشش است، معمول می‌باشند. در خاک‌هایی که طبقه زیرین به‌وسیله‌ی شخم‌وشیار، و یا تسطیح آشکار شده‌اند و در آن‌ها امکان تلفیق شیارهای کوچک چنان فراهم شود که رواناب سبب کندوکاو گردد، آبکندها به‌سهولت تشکیل می‌شوند (شکل ۲۱-۱۷ الف). تمرکز آب در جاده‌ها و مسیرهای بد طراحی شده می‌تواند سبب تشکیل آبکند، حتی در جنگل‌های متراکم شود. در بسیاری از موارد، آبکندهای مورد مسامحه طی سال‌ها به رشد خود ادامه داده و نهایتاً سبب تخریب چشم‌انداز می‌شوند (شکل ۲۱-۱۷ ب). از طرف دیگر در بعضی از خاک‌های دارای قطعات سنگی، ممکن‌است ذرات درشت باقی‌مانده در کف آبراهه از کندوکاو بیشتر رواناب ممانعت کنند.

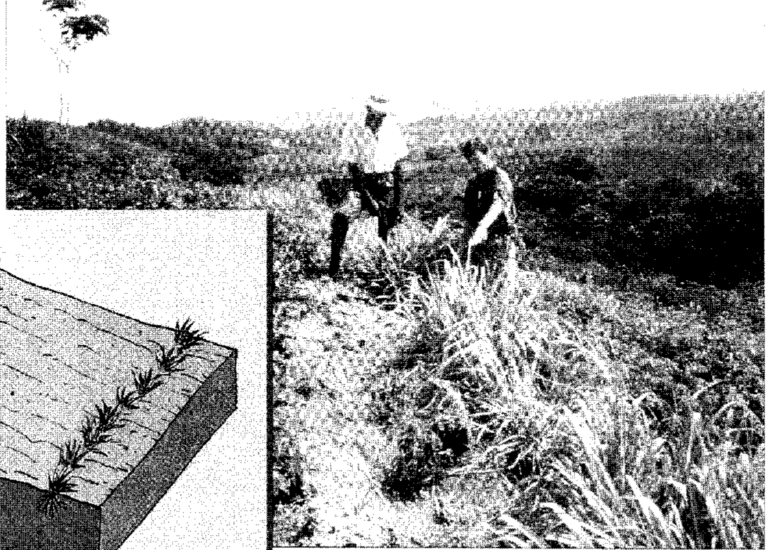
درمان مفید آبکندها

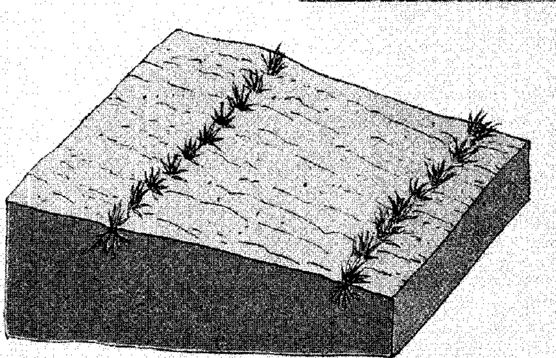
اگر آبکندها کوچک باشند، می‌توانند، مجدداً از خاک پر شده و برای حرکت آرام آب به شکل مطلوب در آمده، به زیر کشت گیاهان چمنی رفته و از آن پس به‌عنوان آبراهه‌های چمنی بدون هرگونه به‌هم‌زدن و دست‌کاری باقی بمانند. هنگامی فرسایش آبکندی بسیار فعال‌تر از آن است که بدین‌شیوه مهار گردد درمان و معالجه‌ی بیشتری مورد نیاز می‌باشد. اگر آبکند کوچک باشد، ممکن‌است مجموعه‌ای

[1] -Vegetation barriers
[2] -Vetiver grass
[3] -Mass wasting

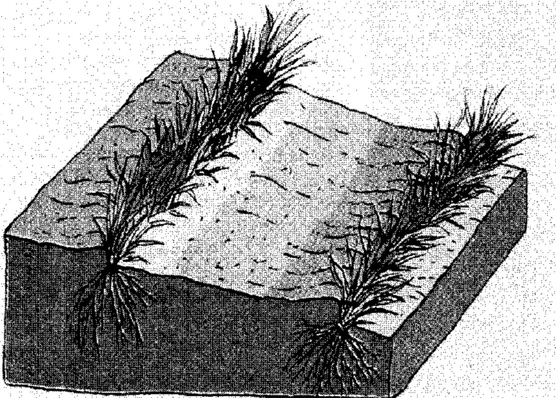
از سدهای تنظیمی با بلندی ۰/۵ متر در فواصل ٤ تا ۹ متر بستگی به شیب آبراهه ایجاد شوند. این سدهای کوچک ممکن‌است از مصالحی که در محل یافت می‌شوند، مانند سنگ‌های درشت، بسته‌های علوفه کهنه، سرشاخه و یا تنه درختان ساخته شوند.

ممکن‌است طورهای سیمی برای استحکام این سازه‌ها مورد استفاده قرار گیرند. سدهای تنظیمی، بزرگ و یا کوچک باید با توجه به چهره‌ی کلی که در شکل ۲۲-۱۷ آمده است ایجاد گردند. ممکن‌است بعد از مدتی رسوب کافی در پشت سدها برای ایجاد مجموعه‌ای از تراس‌های سکویی تجمع یافته، و ممکن‌است آبراهه از خاک پر شده، به زیر کشت گیاهان چمنی دایمی برده شوند.





(الف)



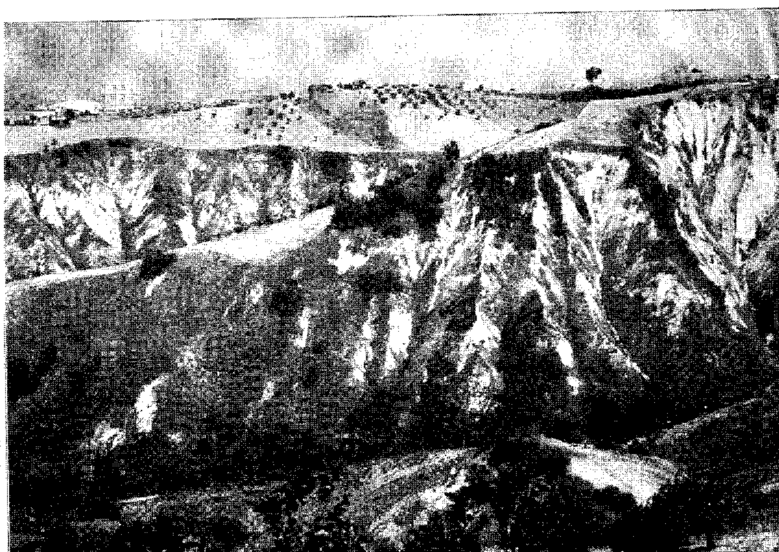
(ب)

شکل ۲۰-۱۷ استفاده ازموانع گیاهی برای ایجاد سکوهای طبیعی (عکس). یک گیاه چمنی گرمسیری (ویتور) که درروی تراز در مزرعه کاساوا با قراردادن جوانه‌های ریشه در خاک ایجاد می‌شود. الف) قلمه‌های ریشه عمود برجهت شیب کشت می‌شوند. در طول یک‌سال و یا بیشتر، گیاه چمنی به‌خوبی استقرار یافته و ریشه و شاخ و برگ متراکم آن به‌عنوان مانعی برای نگهداری ذرات خاک، و درعین‌حال برای عبور بخشی از رواناب عمل می‌کنند. ب) به تجمع خاک در بخش فوقانی گیاه چمنی توجه کنید که ایجاد یک دیواره‌ی سکو کرده است. در دشت‌های شمالی آمریکا گیاهان چندساله بلند (علف[1] گندم) به‌طور آزمایشی به صورت مانعی در مقابل حرکت برف، سپس در مقابل فرسایش بادی، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

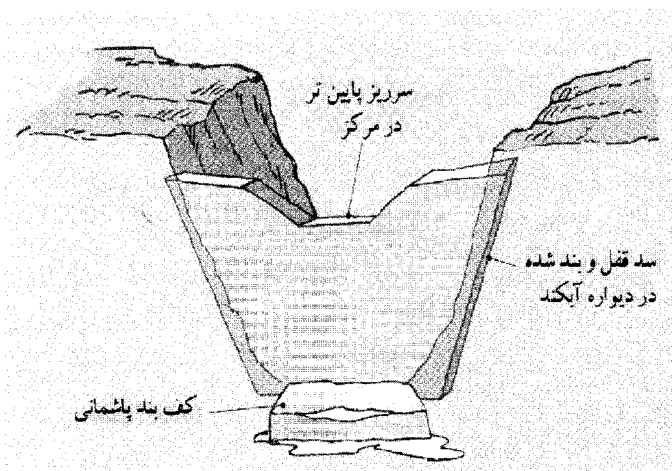
ممکن‌است در آبکندهای خیلی بزرگ لازم باشد که رواناب را از رأس آبکند منحرف نموده و به ایجاد سدهای دائمی‌تر با استفاده از مصالح خاکی، بتنی و یا سنگ در داخل آبراهه اقدام کرد. در این‌جا نیز رسوبات ترسیب شده در پشت سد به‌تدریج آبکند را پر می‌کنند سدهای تنظیمی نیمه‌دایمی، آب‌گذرها[2] و آبراهه‌های پوشیده از قطعات سنگی نیز در مناطق ساختمان‌سازی مورد استفاده قرار گیرند، اما استفاده گسترده از آن‌ها در اراضی کشاورزی معمولاً بسیار پرهزینه است.

[1] - Wheat grass
[2] -Flum





شکل ۲۱-۱۷ گسترش فرسایش آبکندی.(بالا) فرسایش آبکندی در یک خاک بسیار فرسایش‌پذیر در غرب ایالت تنسی. ریشه‌های بوته‌های کوچک گندم برای جلوگیری از کنده‌شدن خاک ناشی از جریان متراکم توانایی ندارند. (پایین) حاصل مسامحه‌ی فرسایش تسریعی انسانی خاک‌ورزی خاک‌های شیب‌دار در عصر تمدن رم سبب بروز فرسایش تسریعی گردید که نهایتاً سبب ایجاد آبکندهای هزاردره‌ای از آبراهه‌های کوچک شد که در داخل این چشم‌انداز اراضی ایتالیایی به بریدن و کندن خود بعداز هربارش‌شدید ادامه می‌دهد. برای درک مقیاس به درختان زیتون و منازل در شیب آرام زیر پوشش چمنی در بالای تپه نسبتاً فرسایش نیافته، توجه کنید.



شکل۲۲-۱۷ نمای کلی از یک سد تنظیمی که برای توقف آبکند به‌کار می‌رود. سد تنظیمی چه از سنگ ساخته شود و یا از سرشاخه، بتن و سایر مصالح باید دارای چهره کلی در این شکل باشد. سازه باید در داخل دیواره‌های آبکند، همان‌طورکه نشان داده شده است برای جلوگیری از حرکت آب در اطراف آن قفل‌بند شده باشد ارتفاع وسط دیواره تاج سد باید پایین‌تر باشد تا رواناب از آن‌جا عبور کرده و سبب شستشوی دیواره‌های خاکی آبکند نشود. برای جلوگیری از پی‌کنی زیر سد براثر سرریز آب باید یک کف‌بند در زیر سد در مرکز آن با استفاده از سرشاخه‌های متراکم، بتن و قطعات درشت سنگ و یا دیگر مصالح ایجاد شود. برعکس اثرات شفابخش سدهای تنظیمی خوب طراحی شده، درصورت پرکردن و ریختن مصالح مانند سرشاخه‌ها، سنگ‌ها و اتومبیل‌های اسقاطی به‌طور تصادفی در داخل آبکند وضعیت فرسایش بدتر از قبل می‌شود.

رُمبش در شیب‌های ناپایدار

حرکت روبه‌پایین توده‌های بزرگ خاک ناپایدار (جابه‌جایی توده) از فرسایش سطحی خاک، که عنوان این فصل است بسیار متمایز می‌باشد. حرکت توده‌ای ممکن‌است در شیب‌های خیلی تند (معمولاً بیشتر از ۶۰ درصد) مسأله‌ی مهمی باشد. گرچه ممکن‌است این نوع هدررفت خاک در بعضی از مواقع در مراتع پرشیب صورت گیرد، اما در اراضی با کاربری غیرکشاورزی بسیارمعمول می‌باشند. جابه‌جایی توده ممکن‌است در اشکال مختلف باشد. خزش خاک[1] عبارت از تغییر شکل آرام نیمرخ خاک (بدون جداشدن ناشی از برش) در اثر حرکت غیرقابل رویت طبقات فوقانی به‌طرف پایین شیب می‌باشد. لغزش زمین[2] در اثر جداشدن سریع توده‌ی خاک معمولاً خیلی مرطوب و حرکت آن به‌طرف پایین شیب انجام می‌پذیرد. جریان گلی[3] شامل، سیلان نسبی و جریان خاک اشباع شده دراثر ازدست‌رفتن نیروی هم‌چسبی بین ذرات[4] می‌باشد (بخش ۸-۴ و شکل ۳۸-۴ را مشاهده کنید).

ماشه‌ی رُمبش کاهش جرم در بعضی موارد به‌وسیله‌ی فعالیت‌های انسان‌ها براثر ازبین‌بردن نیروهای طبیعی پایداری و یا اشباع نمودن خاک به‌وسیله‌ی جریانات متراکم آب آبیاری کشیده می‌شود. پوسیده‌شدن ریشه‌ی درختان نگهدارنده خاک چندسال پس از کف‌تراشی جنگل و یا ایجاد جاده‌ای در پنجه یک شیب تند همگی می‌توانند نمونه‌های معمول از فعالیت انسانی باشند.

۹-۱۷ مهارکردن فرسایش تسریعی در مراتع و اراضی جنگلی

مسایل مراتع

در بسیاری از مراتع در مناطق نیمه‌خشک مقادیر زیادی خاک در شرایط طبیعی ازدست می‌رود (شکل ۳-۱۷). فرسایش تسریعی در این مراتع، درصورت عدم مدیریت دقیق فعالیت‌های انسانی، می‌تواند منجر به هدررفت بیشتر خاک گردد. چرای بیش ازحد، که منجر به تخریب پوشش گیاهی در مراتع طبیعی می‌شود، یک نمونه بارز می‌باشد. پوشش گندمیان چمنی معمولاً بهتر از بوته‌های پراکنده که معمولاً به‌دنبال مدیریت ضعیف چرای احشام جایگزین آن می‌گردد، از خاک بهتر محافظت می‌کند. به‌علاوه ممکن‌است تجمع گله‌های احشام در اطراف منابع آب و سنگ نمک با توزیع نامناسب سبب تخریب کامل خاک گردد. ممکن‌است مسیرهای گاورو و یا شیار حاصل از چرخ ماشین و یا تراکتور در خارج از جاده اصلی، سبب تمرکز رواناب و توسعه آبکندها شود که در چشم‌اندازها پیشروی خواهند کرد. به‌دلیل استیلای شرایط خشک، فرسایش بادی (که در بخش ۱۱-۱۷ صحبت خواهدشد) نقش مهمی را در تخریب خاک‌های مراتع ایجاد خواهدکرد.

فرسایش در اراضی جنگلی

برخلاف بیابان‌ها و اراضی مرتعی، اراضی تحت جنگل دست‌نخورده‌ی سالم خاک اندکی را از دست می‌دهند. هرچند ممکن‌است فرسایش تسریعی در اراضی جنگلی مسأله شدیدی باشد. زیرا ممکن‌است نرخ فرسایش کاملاً بالا بوده و یا اراضی گسترده‌ای با فرسایش مواجه باشند. علت اصلی فرسایش تسریعی در حوزه‌های جنگلی معمولاً به‌دلیل ساخت جاده‌های برداشت چوب، عملیات برداشت الوار و لگدکوب‌شدن جاده‌ها و یا فضای خارج از مسیرها به‌وسیله‌ی استفاده‌کنندگان از تفرج‌گاه‌ها (در بعضی موارد احشام) باشد.

برای درک این مطلب و اصلاح آن‌ها باید رمز و راز نرخ فرسایش طبیعی اندک را که در اراضی جنگلی در کف دست‌نخورده آن است کشف نمود، همان افق که خاک را از برخورد قطرات باران محفوظ داشته، و دارای چنان ظرفیت نفوذ بالایی می‌باشد که رواناب وجود نداشته و یا بسیار اندک است. برخلاف تصور عمومی، این کف جنگل و لاشبرگ است که درمقایسه با تاج‌پوشش و یا ریشه‌ها از خاک درمقابل فرسایش محافظت می‌کند (۲۳-۱۷ الف). درواقع قطرات باران که از برگ درختان بلند سقوط می‌کنند، قطرات بزرگی بوده و طی سقوط به سرعت حد رسیده و سطح خاک را با انرژی حتی بیشتری از قطرات باران در بارندگی‌های نسبتاً شدید، مورد برخورد قرار می‌دهند. اگر کف جنگل از حالت اولیه خارج و خاک معدنی آشکار گردد، فرسایش پاشمانی شدیدی حاصل خواهدشد (۲۳-۱۷ب). ممکن‌است درصورت تمرکز رواناب، فرسایش خندقی نیز در زیر تاج‌پوشش درخت مانند جاده‌های بد طراحی شده صورت گیرد.

---

[1] -Soil creep
[2] -Landslide
[3] -Mud flows
[4] -Cohesion



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۲۳-۱۷ پوشش لاشبرگ در کف جنگل، درمقایسه با ریشه‌ی درختان و یا تاج‌پوشش، بیشترین حفاظت را درمقابل فرسایش از یک بوم‌سامان درختی به‌عمل می‌آورد. (الف)کف یک جنگل معتدل دست‌نخورده‌ی خزان‌کننده (از داخل تنه پوسیده مشاهده می‌شود). تاج‌پوشش بدون برگ درطول ماه‌های زمستان برگاب اندکی دارد. ممکن‌است در طول تابستان، سقوط قطرات باران از شاخ وبرگ درختان بلند کف جنگل را با همان انرژی ناشی از باران بدون برخورد با موانع مورد ضربه قراردهد. (ب) فرسایش شدید در زیر تاج‌پوشش یک درخت‌زار که کف‌پوش جنگلی حفاظت‌کننده‌ی آن در اثر رفت‌وآمد زیر پا نابود شده، ایجاد گردیده است. ریشه آشکارشده‌ی درختان نشان می‌دهد که ۲۵ سانتی‌متر خاک‌رخ ازبین رفته است. (ج)تاک‌های گلسین[1] در زیر تاج‌پوشش متراکم درختان کائوچو در آسیای جنوبی برای جلوگیری از فرسایش در اراضی شیب‌دار کاسته شده‌اند. شیرابه‌ی سفید کائوچو، که از پوست بریده‌شده درخت تراوش کرده و قطره‌قطره در کاسه‌های کوچک جمع‌آوری می‌شود. لگدکوبی کف جنگل به‌وسیله‌ی کارگران و تجزیه شدید لاشبرگ، ضرورت ایجاد پوشش زنده را در سطح زمین ایجاب می‌کنند.

عملیات کاهش هدررفت خاک در اثر تولید الوار

عمده‌ترین منبع خاک فرسایش یافته در تولید الوار عبارتنداز جاده‌های[2] برداشت الوار (که برای دسترسی کامیون‌ها به منطقه برداشت ساخته می‌شوند)، مسیرهای[3] خزیدن (مسیرهایی که در طول آن‌ها تنه‌های برداشت‌شده کشیده می‌شوند)، مناطق جمع‌آوری[4] (منطقه‌ای که تنه‌های جمع‌آوری‌شده به قطعات در اندازه‌های مختلف بریده و بارگیری می‌شوند). افتادن درختان مستقیماً فرسایش اندکی به‌بار می‌آورد (مگر آن‌که ریشه‌های بزرگی از درختان برای نگهداری خاک درمقابل رُمبش موردنیاز باشند، همان‌طورکه در بخش ۸-۱۷ بیان گردید.

1 -Glycine vine
2 -Logging roads
3 -Skid trails
4 -yarding areas

راهبردهای مهار فرسایش باید موارد زیر را در بر داشته باشد:۱ شدت برداشت چوب ۲ روش‌های به‌کاررفته برای برداشت الوار ۳ جدول زمان‌بندی برداشت الوار و ٤ طراحی و مدیریت جاده‌ها و مسیرها. به‌هم‌زدن خاک برای نوزایش[1] درخت (مانند عملیات خاک‌ورزی بـرای حذف رقابت علف‌های هرز و یا ایجاد تماس بهتر بذر با خاک) باید به جاهایی اختصاص یابد که حساسیت آن‌ها به فرسایش پایین باشد.

شدت برداشت الوار: در پرشیب‌ترین مناطق، و در محل‌هایی با فرسایش‌پذیرترین خاک ممکن‌است نظارت محیطی حاکی‌از عدم برداشت الوار و اعمال مدیریت حفاظتی باشد. در مناطق با حساسیت کمتر، قطع انتخابی[2] (برداشت گاه‌به‌گاه فقط درختان مسن) بدون عواقب مخرب می‌تواند موردعمل قرارگیرد. نظام درختان جان‌پناه[3] (که در آن تعداد نسبتاً زیادی از درختان بعد از برداشت تمام درختان دیگر سرپا باقی می‌مانند) شاید متمرکزترین روش برداشت بعدی باشد که بتوان در مناطقی با حساسیت متوسط به فرسایش مورداستفاده قـرار داد. قطع یکسره[4] (برداشت تمام درختان در قطعات بزرگ جنگل) را باید فقط در شیب‌های آرام با خاک‌های مقاوم مورد استفاده قراردارد.

روش‌های برداشت درختان: روشی که دارای کمترین هزینه بوده و به‌طور بسیار معمول برای جابه‌جایی الوار به‌وسیله‌ی تراکتورهای چرخ‌دار لاستیکی انجام می‌شود روش کششی[5] نام دارد (شکل ۱۸-۴ را مشاهده کنید). این روش سبب بـه‌هـم‌خـوردن کـف جنگـل و آشکارشدن خاک معدنی در۳۰ تا۵۰ درصد منطقه برداشت می‌شود. در مقابل روش‌های پرهزینه که از طناب‌های پولادین برای بلندکـردن یک سر چوب از زمین به‌کار می‌رود، حدود ۱۵ تا ۲۵ درصد خاک معدنی را آشکار می‌سازد. برای مناطق بسیار حساس، الوار به‌وسـیله‌ی بالن ویا چرخ‌بال به مناطق جمع‌آوری حمل می‌شود. این عملیات بسیار پرهزینه بوده و فقط ٤ تا ۸درصد خاک معدنی را آشکار می‌سازند

جدول زمان‌بندی برداشت: با محدودکردن ورود ماشین‌آلات به جنگل در مواقعی که خاک یا خشک است ویا یـخ‌زده و پوشـیده از برف (در مناطق معتدل) می‌توان از فرسایش خیلی زیاد ممانعت کرد. خسارت وارده به کف جنگل (شـامل تـراکم و ظـاهرشـدن خـاک معدنی) درصورت مرطوب‌بودن بیش از حد خاک بسیار به آسانی صورت خواهد گرفت. به‌علاوه شیارهای حاصل از چرخ ماشین‌آلات و تمرکز رواناب در آن‌ها برای آغاز فرسایش آبکندی در خاک‌های مرطوب به سهولت ایجاد خواهند شد.

طراحی و مدیریت جاده‌ها: ممکن‌است جاده‌های نامناسب برداشت الوار سبب هدررفت ۱۰۰ تن خـاک در هکتـار از سـطح جـاده، دیواره‌های نهر زه‌کشی و یا خاک آشکارشده در دامنه‌های بریده‌شده شیب اطراف جاده گردد. جاده‌ها همچنـین مقـادیر زیـادی از حجـم رواناب را جمع‌آوری کرده که می‌تواند سبب فرسایش شدید آبکندی گردد. جاده‌ها باید چنان مسیریابی شوند که از چنین مسایلی اجتناب گردد. سنگ‌فرش‌کردن جاده‌ها و پوشش انهار با سنگ و کشت پوشش دائمی در بریدگی آشکارشده‌ی کنار جاده‌ها می‌تواند سبب کاهش هدررفت خاک تا ۹۹٪ شود. یک روش بسیار کم‌هزینه‌ی دیگر ایجاد آبراهه‌هایی در عرض جاده (نهرهای کوچک و یا آبگذر که در شکل ۲۴-۱۷ نشان داده شده‌اند) در هر ۲۵ تا ۱۰۰ متر برای جلوگیری از تمرکز بیش از حد آب و پخش آن در روی اراضی محافظت شده بـا پوشش متراکم می‌باشد. بعداز اتمام برداشت الوار، باید پوشش گیاهی در جاده‌های موجود استقرار یافته و رفت‌وآمد در آن‌ها ممنوع گردد.

طراحی مسیرهای کشیدن الوار: مسیرهای کشیدن الوار که سبب هدایت آب رواناب بـه‌طـرف پـایین شـیب و بـه‌سـوی منطقـه‌ی جمع‌آوری الوار می‌گردد، سبب فراخواندن فرسایش آبکندی می‌شود. کشیدن مکرر الـوار در مـسیرهای درجـه ۲ نیـز مـی‌توانـد سـبب آشکارشدن هرچه بیشتر خاک معدنی و مواجهه‌ی آن‌ها با نیروهای فرسایشی گردد. از این دو کار باید اجتناب کرد. محل جمع‌آوری الوار باید در مناطقی با بلندترین ارتفاع، کمترین شیب و زه‌کشی خوب قرار داشته باشند.

نوارهای محافظ در امتداد کناره رودخانه‌ها: وقتی جنگل‌ها برداشت می‌شوند، نوارهای محافظ با عرضی معادل ۱/۵ برابر ارتفـاع بلندترین درختان باید بدون هیچ‌گونه به‌هم‌خوردن در تمام طول رودخانه ایجاد شوند همان‌طورکه در بخش ۲-۱۶ بحث گردید، نوارهـای محافظ مرکب از پوشش متراکم دارای ظرفیت بالایی جهت جداسازی رسوبات و عناصر غذایی از رواناب می‌باشـند. نوارهـای محـافظ جنگلی رودخانه را از رسوبات و بقایای جنگل‌تراشی محافظت می‌کنند. به‌علاوه درختان در حاشیه‌ی رودخانه سـبب سـایه‌دارشـدن آب گشته و آن‌را از گرم‌شدن نامطلوب، که درنتیجه مواجهه با نور مستقیم آفتاب حاصل می‌شود محافظت می‌کنند.

---

[1] -Regeneration
[2] -Selective cutting
[3] -Shelterwood system
[4] -Clear cutting
[5] -Skidders



شکل ۲۴-۱۷ آبگذری روباز در یک جاده‌ی برداشت الوار خوب طراحی شده در ایالت مونتانا. این سازه‌ی ساده، همراه با مسیریابی مناسب جاده، می‌توانند فرسایش آبکندی ناشی از جریان و رواناب مهارشده را در طول جاده‌ها و مسیرهای برداشت چوب در مناطق جنگلی به‌مقدار زیادی کاهش دهد. آبگذرهای روباز و آبراهه‌های جای‌گذاری شده در فواصل متوالی سبب مهار رواناب، در هر زمان جریان اندک، و هدایت آن به خارج از جاده برروی مناطق دارای پوشش متراکم می‌گردند.

۱۰-۱۷ مهار فرسایش و رسوب در ساختمان‌سازی‌ها

اگرچه ساختمان‌سازی‌های فعال بخش نسبتاً کوچکی را از یک حوزه آبخیز شامل می‌گردند، آن‌ها می‌توانند منبع عمده‌ای برای رسوبات فرسایش‌یافته باشند، زیرا توان فرسایش در اراضی کاملاً به‌هم‌خورده ساختمانی معمولاً ۱۰۰ برابر اراضی کشاورزی است. بار رسوبات سنگین از خصوصیات رودخانه‌های است که حوزه‌های آبخیزی را زه‌کشی می‌کنند که در آن‌ها کاربری جنگلی و زراعی درحال تبدیل‌شدن به ساختمان می‌باشند. از نظر تاریخی، وقتی شهرسازی در یک حوزه‌ی آبخیز به اتمام می‌رسد (تمام اراضی یا آسفالت‌شده و یا به‌وسیله‌ی چمن خوب پوشش یافته باشند) میزان رسوب به‌اندازه قبل از توسعه ساختمان و یا کمتر از آن، کاهش می‌یابد.

برای جلوگیری از آلودگی جدی رسوب از محل‌های ساختمان‌سازی، حکومت‌های محلی در آمریکا، (از طریق قوانین ایالتی و طرح آب پاک فدرال سال ۱۹۹۲) و در بسیاری از کشورهای صنعتی دیگر از مقاطعه‌کاران می‌خواهند که طرح‌های تفصیلی در مورد مهار فرسایش و رسوب قبل از شروع طرح‌های ساختمانی که بیشتر از یک هکتار زمین را شامل می‌شوند، ارائه دهند. اهداف مهار فرسایش در محل‌های ایجاد ساختمان عبارتند از: ۱) جلوگیری از خسارات فرسایش در محل وقوع آن، مانند زیرکنی پی‌ها و یا شیب‌بندی‌های خاتمه یافته و هدررفت خاک سطحی که نهایتاً برای طراحی چشم‌انداز لازم می‌باشد ۲) نگهداری رسوبات در محل اصلی به‌طوری‌که از خسارت زیست‌محیطی که از ترسیب رسوب در اراضی همسایگان جاده‌ها، نهرها، مخازن و رودخانه‌ها حاصل می‌شود، ممانعت گردد.

اصول مهارکردن فرسایش در ساختمان‌سازی‌ها

پنج مرحله‌ی اساسی در ارائه‌ی طرح‌ها برای تحقق اهداف فوق‌الذکر مفید می‌باشند که عبارتند از:

۱- درصورت امکان، فعالیت‌های اصلی حفاری را برای دوره‌های کم‌باران سال زمان‌بندی کنید.

۲- طرح را تا آن‌جا که مقدور است در مراحل زیادی تنظیم کنید به‌طوری‌که فقط چند منطقه کوچک در هر نوبت از پوشش عاری گشته و تسطیح گردند.

۳- تا آن‌جا که مقدور است خاک‌های مورد تعرض را با استفاده از پوشش گیاهی و یا سایر مصالح پوشش‌دار کنید.

۴- جریان رواناب را برای هدایت مطمئن آن به خارج از منطقه ساختمان‌سازی بدون ایجاد آبکند تنظیم کنید

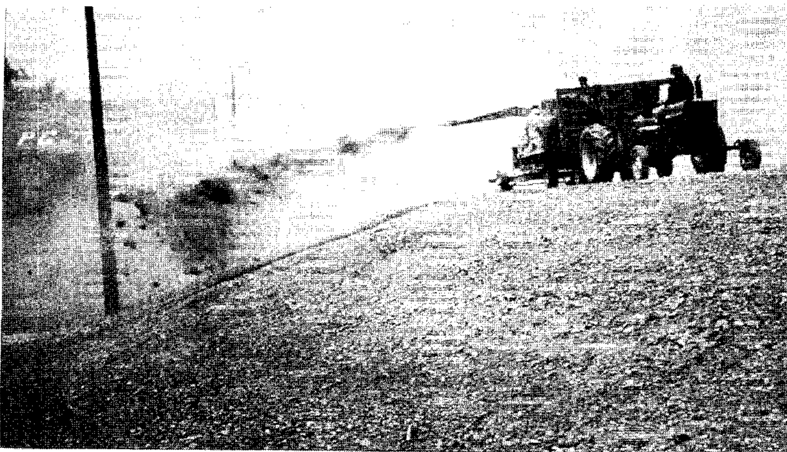
۵- رسوب رواناب را قبل از رهاسازی رواناب به خارج از محل اصلی وقوع جمع‌آوری کنید.

سه مرحله آخر نیازمند شرح و تفصیل بیشتری بوده، و می‌توانند به‌عنوان عملیات مخصوص در تلفیق با طرح‌های کلی مهار فرسایش برای منطقه‌ی مورد نظر به‌کار گرفته شوند.

پوشش‌دارکردن خاک مورد تهاجم

خاک‌هایی که به‌وسیله‌ی عملیات حفاری و یا تسطیح مورد تهاجم قرار می‌گیرند، دارای فرسایش‌پذیری (مقادیر K) بالایی می‌باشند. این مطلب به‌خصوص درمورد خاک‌های تحت‌الارضی دارای ماده‌ی آلی اندک صادق می‌باشد. توان فرسایش ممکن‌است فوق‌العاده بالا (۲۰۰ تا ۴۰۰ تن‌درهکتار غیرمعمول نیست) باشد، مگر آن‌که مقدار C با ارائه‌ی پوشش خوب به‌مقدار زیادی کاهش یابد. این کار با به‌هم‌نزدن و باقی‌گذاشتن پوشش طبیعی در مدت زمان هرچه طولانی‌تر، به‌جای ازبین‌بردن پوشش طبیعی و تسطیح تمام سطح منطقه موردنظر در ابتدای ساختمان‌سازی، قابل وصول است. هر زمان که بخشی از منطقه تسطیح می‌شود، بایستی بخش‌های شیب‌دار دیگر، که مستقیماً در عملیات ساختمان‌سازی قرار ندارند، به زیرکشت گونه‌های چمنی دارای رشد سریع و سازگار با خاک و شرایط اقلیمی منطقه برده شوند.

اراضی بذرکاری شده باید با خاک‌پوش و یا کف‌پوش‌های مهارکننده‌ی فرسایش[1] پوشیده شوند. این پرده‌ها از مواد قابل‌تجزیه و یا غیرقابل‌تجزیه درست شده و سبب پوشش سریع خاک و حفظ بذرها از آبشویی می‌گردند (شکل ۲۵-۱۷ب و جدول ۱۲-۱۷). فناوری معمول و قابل‌استفاده برای نگهداری شیب‌های تند و اراضی دارای مشکل دسترسی، مانند بریدگی کنار جاده‌ها، بذرکاری دوغابی[2] است (شکل۲۵-۱۷ الف) که در آن مخلوطی از بذر، کود، آهک (درصورت نیاز)، مواد خاک‌پوش، و پلی‌مرهای چسبیده برروی این سطوح پاشیده می‌شود. مدیریت ساختمان‌سازی خوب در یک منطقه شامل برداشت و تل‌انبارنمودن طبقه‌ی A قبل از تسطیح منطقه می‌باشد. این خاک ازنظر حاصلخیزی غنی بوده و ازنظر تولید رسوب و آلودگی عناصر غذایی دارای توان بالایی می‌باشد. برای جلوگیری از فرسایش، بایستی این توده‌های خاکی قبل از مصرف و پخش دوباره آن‌ها به‌عنوان خاک سطحی به‌وسیله‌ی گیاهان چمنی دارای پوشش گردند.





شکل ۲۵-۱۷ دو روش برای استقرار پوشش گیاهی در شیب‌های تند ناپایدار (بالا) فناوری بذرکاری دوغابی امکان استقرار پوشش گیاهی را به‌طوری مؤثر در مناطق دارای مشکل دسترسی فراهم می‌کند، دستگاه مخلوطی از آب، کاه، بذر گیاهان علفی، کود و پلی‌مرهای چسبناک را برای نگهداری خاک‌پوش در سطح تا استقرار بذرها و ریشه‌دوانی آن‌ها برروی سطح موردنظر می‌پاشد. (زیر) پرده‌های مهارکننده‌ی فرسایش که از تورهای پلاستیکی و یا مواد طبیعی مانند کنف ساخته می‌شوند برروی سطح تازه‌ی بذرکاری شده کشیده می‌شود تا خاک و بذر را تا استقرار پوشش گیاهی در محل خود نگهداری کنند.

[1] -Erosion blanket
[2] -Hydroseeding

جدول ۱۲-۱۷ میزان تأثیر مواد مختلف مهارکننده فرسایش در کاهش رواناب و هدررفت خاک و استقرار پوشش گیاهی در مناطق به‌هم‌خورده. تمام کرت‌ها (به‌استثنای قطعات چمنی) با بذر گیاهان چمنی بذرکاری شده و به‌وسیله‌ی موادی که در جدول آمده‌اند، پوشیده شدند. توجه کنید که تمام تیمارها فرسایش را به‌مقدار زیاد و رواناب را به‌مقدار کمتری کاهش دادند. قطعات چمنی مؤثرترین پوشش بوده و به‌دنبال آن خاک‌پوش کاه‌وکلش مؤثر می‌باشد. هیچ‌کدام از مواد تأثیر منفی در استقرار گیاهان چمنی نداشتند، درصورتی که اثر خاک‌پوش کاه‌وکلش ممکن‌است دارای اثر مثبت بوده باشد. در سایر موارد کاربرد این مواد (مانند پوشش‌دارکردن نهرها) که با سرعت بالای رواناب مواجه می‌باشیم پرده‌های مصنوعی جلوگیری از فرسایش از خاک‌پوش کلش مؤثرتر می‌باشند.

مواد	هدررفت خاک kg/ha (الف)	هدررفت رواناب (درصد)	مدت زمان تا آغاز رواناب (ثانیه)	درصد استقرار پوشش گیاهی (ب)
خاک بدون پوشش	۶۶۵۰	۸۳	۳۴	۵۰
کنف (تور بافته‌شده)	۴۱۰	۶۸	۶۲	۶۱
تراشه‌های چوب بافته‌نشده در توری پلی‌استر	۸۱۰	۷۴	۷۴	۶۹
کف‌پوش الیاف نارگیل	۱۰۷۰	۷۶	۸۶	۵۸
کاه (۴/۵ تن‌درهکتار)	۵۹۰	۶۰	۱۰۲	۷۶
قطعات چمنی	۱۰۰	۲۸	۳۴۱	۱۰۰

الف) هدررفت حاصل از باران شبیه‌سازی شده با شدت ۹۶ میلی‌متر در ساعت. عدد میانگین دو نوع خاک است. سری لوم شنی ساسفراس[1] با ۸ درصد شیب و خاک لومی رسی شنی سری متاپیک[2] با ۱۵ درصد شیب

ب) درصد پوشش استقراریافته یک‌سال بعد از بذرکاری علف کنتاکی و پوشش آن با مواد مختلف در یک مطالعه جداگانه

مهارکردن رواناب

خاک‌های تحت‌الارض تازه آشکارشده و به‌هم‌خورده در مقابل عمل کنش به‌وسیله‌ی آب جاری بسیار حساس بوده و ممکن‌است آبکندهای تشکیل شده سبب تخریب قسمت تسطیح‌شده، زیرکنی جاده‌ها و ساختمان‌ها، و تولید با رسوب بسیار زیاد گردند. جریان رواناب باید به‌وسیله‌ی طرح‌های تسطیح، تراس‌بندی و ایجاد آبراهه مهار گردد. اکثر مناطق ساختمان‌سازی نیازمند یک آبراهه پیرامونی می‌باشند که رواناب را قبل از ترک منطقه، جمع‌آوری نموده و آنرا به یک مخزن نگهداری هدایت کند.

دیواره‌ها و کف این آبراهه‌ها باید به‌وسیله‌ی مواد مقاوم برای مقابله با عمل کنش آب جاری پوشیده شوند. وقتی‌که سرعت‌های بالا مورد انتظار است خاک باید به‌وسیله‌ی زره سخت[3] مانند ریپ‌رپ[4] (قطعات سنگی بزرگ زاویه‌دار همانند شکل ۲۶-۱۷)، تورسنگ (محفظه‌های از تورهای سیمی مستطیلی که با قطعات سنگی قابل‌حمل به‌وسیله‌ی انسان پرشده‌اند) و یا قطعات بتنی چیده شده محافظت گردد. خاک ابتدا به‌وسیله‌ی صافی‌های حاصل از منسوجات زمینی[5] (مواد سفت بافته‌نشده) برای جلوگیری از مخلوط‌شدن آن با سنگ پوشش داده می‌شود.

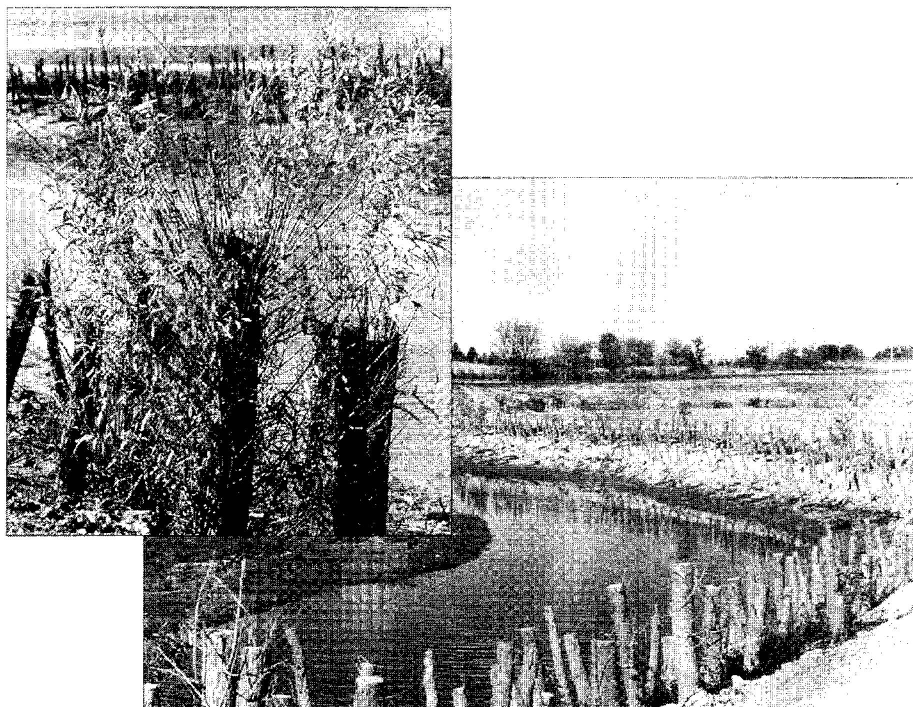
در آبراهه‌های کوچک و شیب‌های بسیار آرام که با سرعت‌های آرام آب مواجه می‌باشیم، زره نرم، مانند قطعات چمن، و یا کف‌پوش‌های مهار فرسایش می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. زره نرم معمولاً ارزان‌تر بوده و ازنظر زیباشناسی خوشایندتر از زره سخت است. راه‌هایی جدید مهار فرسایش شامل پوشش مسلح[6] (درختان و گیاهان چمنی کشت شده در فضای بین قطعات بلوکی و یا در کف‌پوش‌های سفت مهار فرسایش) می‌باشد.

---

1 -Sassfras loamy sand
2 -Matapeake Sandy clay loam
3 -hard armor
4 -Rip rap
5 -Geotextile
6 - Reinforced vegetation



شکل ۲۶ -۱۷ جریان رواناب در مناطق وسیع با خاک فاقد پوشش برای اجتناب از آلودگی خارج از محل اصلی باید به‌دقت تنظیم گردند. در این‌جا، یک آبراهه‌ی دقیق طراحی شده با چمن متراکم در کف آن و دیواره‌های پوشش‌دار با قطعات درشت سنگ (ریپ‌رپ)سبب ممانعت از فرسایش آبکندی، کاهش هدررفت خاک، و هدایت رواناب در پیرامون منطقه ساختمان‌سازی می‌شود.

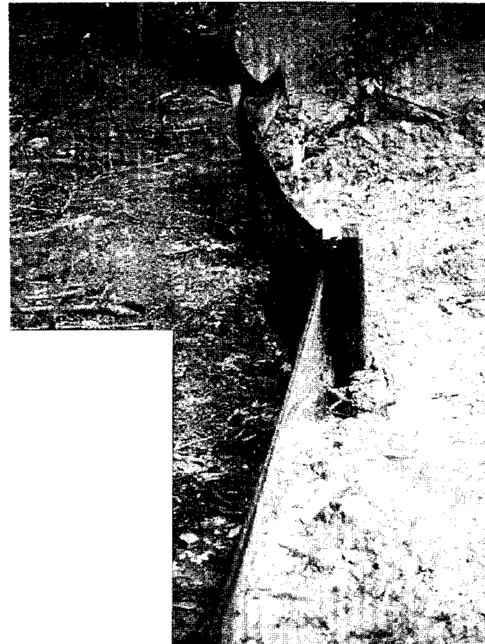


شکل ۲۷-۱۷ نمونه‌ای از مهندسی زیستی در طول بستر یک رود که در طول ساخت یک فرودگاه تجارتی در ایالت ایلی‌نوی صدمه دیده است. شاخه‌های زنده‌ی بید در کناره فرسایش‌پذیر و سست رودخانه کوبیده می‌شوند تا سبب نگهداری خاک و کاهش توان کندن آب در جریان‌های شدید باشند. نهایتاً، شاخه‌های بید ریشه‌دار شده و جوانه زده (عکس داخل)، و درخت‌هایی را به‌وجود خواهند آورد، که به‌طور دایم سبب پایداری ساحل رودخانه، و بهبود زیستگاه وحوش گردند.

واژه‌ی مهندسی زیستی[1]، فناوری‌های استفاده از پوشش گیاهی (گونه‌های بومی، غیرمهاجم ترجیح داده می‌شوند) و مواد طبیعی قابل‌تجزیه‌ی زیستی را برای محافظت آبراهه‌هایی که در معرض سرعت بالای آب قرار دارند، مورد بحث قرار می‌دهد. نمونه‌ها شامل استفاده از بسته‌های سرشاخه[2] برای نگهداری شیب‌های تند است. دراین فناوری شاخه‌های زنده درختان محکم به‌هم بسته شده و به‌وسیله‌ی میخ‌های چوبی بلند که در بدنه‌ی نهر فرو برده می‌شود در روی سطح قرار گرفته و تا اندازه‌ای با خاک پوشیده می‌شوند. فناوری میخ‌های چوبی زنده[3] نمونه دیگری از مهندسی زیستی می‌باشد که به‌طور معمول برای استقرار خاک در طول نهرهایی که در معرض سرعت بالایی از آب می‌باشد مورد استفاده قرار می‌گیرند (شکل ۲۷-۱۷). در هر دو مورد خاک بلافاصله مورد حمایت فیزیکی در مقابل کنده‌شدن به‌وسیله‌ی آب قرار گرفته و در آخر قلمه‌های درحال خواب ریشه داده و سبب حمایت دائمی خاک به‌وسیله‌ی ریشه عمیق گیاه می‌گردند.

به‌دام‌اندازی رسوبات

در مناطق کوچک با خاک‌های دست خورده، انواع مختلفی از موانع حرکت رسوب[4] برای صاف‌کردن رواناب قبل از رهاشدن آن می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، معمول‌ترین نوع از این موانع رسوب عدل‌های کاه و توری‌های بافته‌شده می‌باشند. اگر این موانع به‌طور مناسب نصب گردند، هر دو می‌توانند سرعت جریان آب را به‌گونه‌ای مؤثرتر کاهش دهند، به‌طوری‌که اکثر رسوبات در بخش فوقانی مانع ته‌نشین شوند (شکل۲۸-۱۷) درحالی‌که آب نسبتاً روشن از داخل موانع عبور می‌کند. در مناطق ساختمانی بزرگ مجموعه‌ای از شیب‌ها و آبراهه‌های محافظت‌شده رواناب ناشی از بارندگی به یک یا چند استخر نگهداری‌کننده‌ی رواناب و ته‌نشینی در پایین‌ترین بخش منطقه هدایت می‌کنند. با رسیدن آب جاری به آب ساکن داخل استخر، اکثر بار رسوب آن ته‌نشین گشته (شکل۲۹-۱۷)، و آب نسبتاً روشن از قسمت‌های فوقانی استخر ازطریق آبگیر لوله‌ای امکان تخلیه به استخر دیگر و یا خارج منطقه را پیدا می‌کند. اراضی باتلاقی (بخش ۸-۷) برای کمک به تصفیه سرریز آب استخرهای رسوب‌گیر قبل از تخلیه آب به رودخانه و یا نهرهای طبیعی ایجاد می‌شوند.



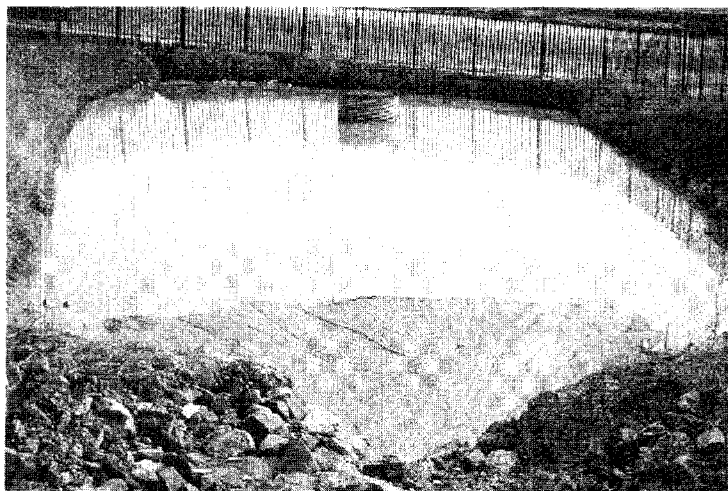


شکل ۲۸-۱۷ انواع عملیات مهار رسوب که در پیرامون مناطق ساختمان‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرند. (بالا)یک ردیف از عدل‌های کاه که به‌وسیله‌ی شاخه‌های چوبی در زمین محکم شده‌اند امکان نشت آب را از داخل خود فراهم ساخته، و اکثر رسوب را صاف کرده و جریان آب را چنان کند می‌کند که آب بار رسوب خود را برجای می‌گذارد. (پایین)یک دیواره رسوب‌گیر که به‌طور مناسب نصب شده است، به‌گونه‌ای رسوب را از رواناب که از منطقه‌ی ساختمان‌سازی خارج می‌شود جدا می‌کند. مواد دیواره رسوب‌گیر از پلاستیک بافته‌شده تشکیل گردیده، که امکان جریان آب را از داخل خود با سرعت بسیارکم فراهم می‌سازد. به رسوب سفیدرنگ در طرف داخل و کف جنگل به‌هم‌نخورده در طرف دیگر رسوب‌گیر توجه کنید. دیواره‌ی رسوب‌گیر خوب نصب‌نشده بی‌استفاده است. زیرا رواناب دارای رسوب از زیر آن عبور می‌کند. رسوب‌گیر باید در داخل خاک فرو رود تا از این مسأله اجتناب گردد.

---

[1] - Bioengineering
[2] -Brush mattress
[3] -Live stake
[4] -Sediment barriers

عملیات مهار فرسایش در مناطق ساختمان‌سازی معمولاً برای نگهداری رواناب حاصل از بارندگی سبک در محل وقوع آن طراحی می‌شوند. استخرهای نگهداری باید همچنین قادر باشند با رواناب حاصل از بارندگی‌های شدید، که در آن محل هر ۱۰ سال یا ۱۰۰ سال اتفاق می‌افتند، سازگار باشند. در طراحی ظرفیت استخرهای ذخیره رسوب، مدل‌های فرسایش که در بخش ۴-۱۷ بحث گردیدند، برای برآورد میزان رسوب که احتمالاً از منطقه فرسایش می‌یابند مورد استفاده قرار می‌گیرند. هرچند استخرهای ذخیره‌ی رسوب خوب طراحی‌شده پرهزینه بوده اما می‌تواند به‌صورت چهره‌های دائمی از نظر زیباشناسی برای بالابردن ارزش نهایی طرح به‌کار گرفته شوند.



شکل ۲۹-۱۷ تأثیر یک سازه‌ی کوچک رسوب‌گیر در نگهداری مواد معلق فرسایش‌یافته از یک منطقه‌ی ساختمان‌سازی. توجه‌کنید که آبراهه دارای سنگرحفاظتی، سبب هدایت رواناب به‌داخل استخر شده و رسوبات بادبزنی مصب‌مانند با کاهش سرعت آب هنگام ورود به‌داخل استخر، ته‌نشین می‌شوند لوله قائم در قسمت عقب عکس دارای سوراخ‌هایی است که امکان ورود صاف‌ترین آب را از نزدیک بخش فوقانی لوله فراهم کرده و آن‌را از منطقه ساختمان‌سازی خارج می‌سازد.

۱۱-۱۷ فرسایش بادی: اهمیت و عوامل مؤثر در آن

تا حال حاضر، توجه خود را معطوف به فرسایش آبی کرده بودیم، اما باد نیز، سبب فرسایش زیادی می‌شود. فرسایش بادی در مناطق خشک و نیمه‌خشک بسیار معمول بوده، و در بعضی از خاک‌ها در اقلیم مرطوب نیز به‌همین نحو مسأله‌ساز است. این فرایند وقتی رخ می‌دهد که بادهای شدید در سطح خاک‌های نسبتاً خشک غالب باشند. تمام خاک‌ها و مواد خاکی تحت تأثیر فرسایش بادی قرار می‌گیرند. ذرات ریزتر ممکن‌است به ارتفاعات بسیار بالایی صعود کرده و در طول هزاران کیلومتر پس از پیمودن اقیانوس حتی از قاره‌ای به قاره‌ای دیگر حمل گردند.

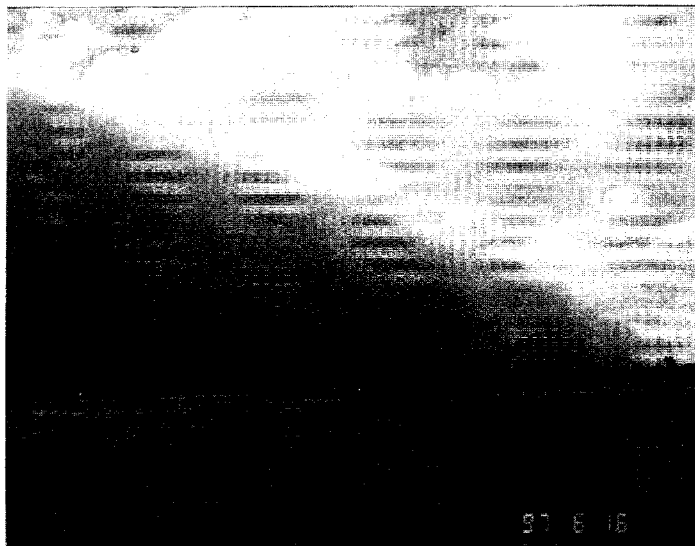
در ماه می‌سال ١٩٣٤ یک طوفان شدید که از جنوب منطقه‌ی دشت‌های بزرگ[1] آمریکا شروع شده بود ابرهای بزرگی را از لای، رس و ماده‌ی آلی به‌طرف شرق در سواحل اقیانوس اطلس، و حتی خارج از اقیانوس نیز گسیل داشت. گفته می‌شود که آسمان تیره شده با گردوغبار واشنگتن‌دی‌سی، کنگره را متقاعد کرد که به برنامه‌های جدید و طولانی مدت برای مبارزه با فرسایش اعتبار اختصاص دهد.

فرسایش بادی اغلب بسیار مخرب بوده و سبب بروز خساراتی به پوشش گیاهی و خاک‌ها در مناطق فرسایشی، و هم چنین زیان‌های زیست‌محیطی در خارج از محل اصلی، می‌گردد. اشکال (۳۰-۱۷ و ۳۱-۱۷). باد در حدود ۴۰٪ کل خاک‌های انتقال یافته به‌وسیله‌ی فرسایش را در امریکا جابه‌جا می‌کند. حدود ۱۲ درصد سطح قاره‌ی آمریکا به‌نوعی تحت تأثیر فرسایش بادی است، که ۸٪ آن حالت متوسط را داشته و در ۲ تا ۳٪ دیگر فرسایش شدیدتر است.

در ٦ ایالت واقع در دشت‌های بزرگ میزان سالانه‌ی فرسایش بادی از فرسایش آبی در اراضی زراعی بالاتر است، که به‌طور متوسط از ٤ تن‌درهکتار در ایالت نبراسکا تا ۲۹ تن‌درهکتار در ایالت نیومکزیکو که مدیریت نادرست اراضی شخم‌خورده و چرای بیش‌ازحد گیاهان مرتعی حساسیت خاک‌ها را به فرسایش بادی سبب گردیده است، متغیر می‌باشد. درسال‌های خشک تأسف‌بارترین نتایج حاصل می‌شود.

در مناطق مرطوب وقتی لایه‌های سطحی برخی خاک‌های به‌خصوص خشک شده و سرعت باد نیز بالاست به‌مقدار قابل‌توجهی در معرض فرسایش بادی قرار می‌گیرند. حرکت تپه‌های ماسه بادی در طول ساحل اقیانوس اطلس و در ساحل شرقی دریاچه‌ی میشیگان نمونه‌های از این موارد می‌باشند. فرسایش بادی در شرایط خشکی همچنین سبب بروز زیان‌هایی در خاک‌های زراعی شنی، و یا خاک‌های آلی می‌شود. خسارت فرسایش بادی در محل اصلی خود و خارج از آن در بخش ۲-۱۷ بحث گردید.

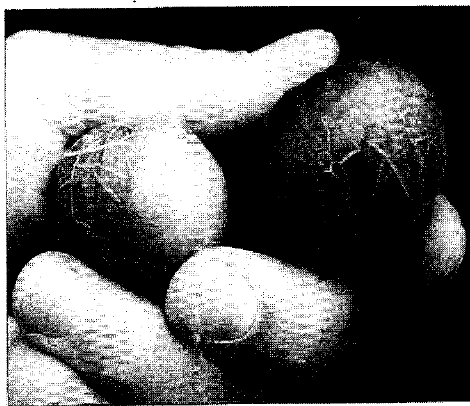
[1] -Great Plains





شکل ۳۰-۱۷ فرسایش بادی درحال انجام.(بالا)یکی از نتایج فرسایش بادی طوفان‌های گرد و خاک است، مانند این یکی که در عرض دشت‌های بزرگ تگزاس درحال حرکت است. ابر سیاه چرخان شامل ذرات ریزی است که از فرسایش خاک براثر بادهای شدید که سطح اراضی مسطح زراعتی و مراتع را جارو می‌کنند، حاصل می‌شود. ظاهراً اکثر اراضی به‌خوبی مزرعه‌ی گندمی که در عکس دیده می‌شود، فاقد پوشش گیاهی کافی بوده‌اند. (پایین)خاک فرسایش‌یافته به‌وسیله‌ی باد در یک طوفان شنی در ایداهو تا ارتفاع ۱ متر در امتداد حصار توری تجمع یافته است.





شکل ۳۱-۱۷ خسارت مستقیم ناشی از فرسایش بادی در زراعت گوجه‌فرنگی در یک مزرعه شنی در دل‌ور.(چپ) گیاهان گوجه‌فرنگی در زیر خاک‌های شنی بادرفته مدفون شده‌اند. (راست)میوه‌های جوان گوجه‌فرنگی خسارت ناشی از سایش ذرات[1] شن را طی یک طوفان شنی به‌طور مستقیم نشان می‌دهند.

[1] -Sand blasting

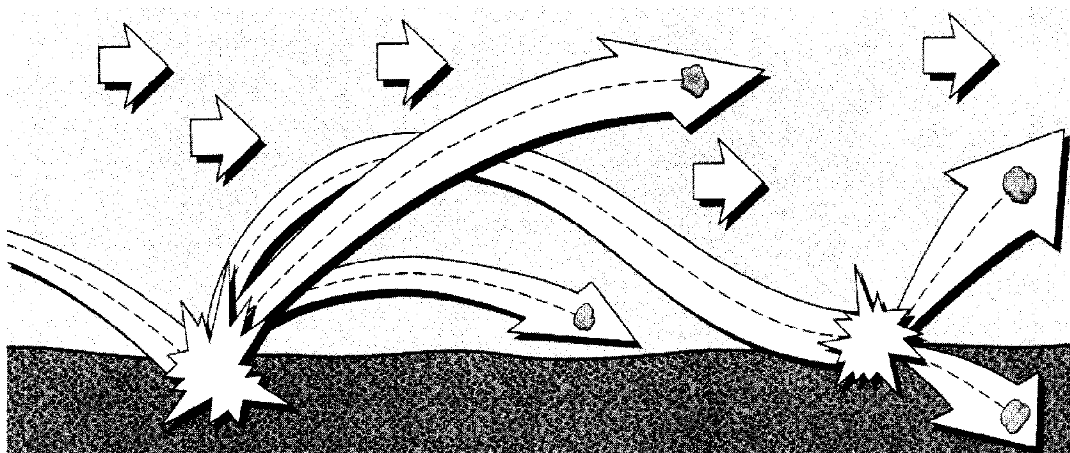
قدرت فرسایشی باد در شکل ۳۰-۱۷ به نمایش گذاشته شده است. به‌نظر می‌رسد نیروی فرسایندگی باد در بعضی مناطق بسیار بیشتر از مناطق دیگر باشد برای نمونه، منطقه‌ی نیمه‌خشک دشت‌های بزرگ آمریکا در معرض بادهای قرار دارد که نیروی فرسایشی آن‌ها ۵ تا ۱۰ بار از بادهای معمول در منطقه مرطوب شرق بیشتر است. در دشت‌های بزرگ آمریکا بادها در فصل زمستان دارای بالاترین قدرت می‌باشند. در سایر مناطق بادهای شدید معمولاً در طول تابستان گرم وقوع می‌یابند.

فرسایش بادی یک مسأله جهانی است، بخش‌های وسیعی از کشور اتحاد جماهیر شوروی سابق و جنوب صحرای بزرگ آفریقا دچار صدمات بسیار شدیدی براثر فرسایش بادی گردیده‌اند. چرای بیش از حد و سایر سوءاستفاده‌ها از اراضی آسیب‌پذیر در مناطق خشک و نیمه‌خشک به فرسایش بادی امکان داده است که توان تولید خاک را کاهش داده و گرسنگی و فلاکت را برای میلیون‌ها انسان در این مناطق به‌بار آورد.

سازوکار فرسایش بادی

همانند فرسایش آبی، فرسایش بادی شامل سه فرایند است : (۱)جداکردن[1] ذره از توده(۲)انتقال ذرات[2] و (۳)رسوب‌گذاری[3]. هوای درحرکت سبب جداکردن ذرات کوچک از خاکدانه‌ها، و یا کلوخه‌هایی خاک می‌گردد. هرچند اگر هوای درحرکت دارای ذرات خاک باشد، توان سایندگی آن به‌مراتب افزایش می‌یابد. برخورد این ذرات متحرک سریع سبب جداشدن سایر ذرات از کلوخه‌ها و خاکدانه‌ها می‌گردد. این ذرات جدا شده حال برای یکی از سه حالت انتقال ناشی از باد، عمدتاً براساس اندازه خود آماده می‌باشند.

حرکت جهشی[4]: اولین و مهم‌ترین حالت انتقال ذرات حرکت جهشی و یا حرکت خاک به‌صورت مجموعه‌ای از جهش‌های کوچک درطول سطح زمین می‌باشد (شکل۳۲-۱۷). ذرات در حالت جهش نزدیک به سطح زمین باقی‌مانده و به‌ندرت از ۳۰ سانتی‌متر و یا بیشتر بلند می‌شوند. بسته به شرایط، این فرایند ممکن‌است ۵۰ تا۹۰ درصد حرکت کل خاک را به خود اختصاص دهد.



شکل ۳۲-۱۷ فرایند حرکت جهشی. ذرات با اندازه‌ی متوسط (قطر۰/۵ – ۰/۰۵ میلی‌متر) در طول سطح خاک جهش نموده، و با حرکت خود به سایر ذرات برخورد کرده و آن‌ها را جدا می‌سازند. آن‌ها برای آن‌که به‌صورت معلق در فاصله‌های طولانی به‌وسیله‌ی باد حمل شوند بسیار بزرگند اما برای حمل به‌وسیله‌ی باد به اندازه‌ی کافی کوچک می‌باشند.

خزش سطحی[5] : حرکت جهشی همچنین سبب تقویت حرکت خزشی و یا غلطاندن و خزش ذرات بزرگ در سطح زمین می‌شود. ذرات بلندشده براثر جهش با خاکدانه‌های درشت برخورد کرده و حرکت آن‌ها را در سطح خاک سرعت می‌بخشند. حرکت خزشی مسوول حرکت ذرات با قطر حدود ۱ میلی‌متر بوده و ۵ تا ۲۵ درصد کل حرکت را شامل می‌شود.

---

1 -Detachment
2 -Transportation
3 -Deposition
4 -Saltation
5 -Surface creep

تعلیق : تماشایی‌ترین شیوه حرکت ذرات خاک به‌صورت تعلیق می‌باشد. در این حرکت ذرات گردوخاک در اندازه شن ریز و کوچک‌تر به‌موازات سطح زمین و به‌طرف بالا حرکت می‌کنند. اگرچه بعضی از آن‌ها در ارتفاعی حمل می‌شوند که بیش از چند متر نیست، عمل تلاطم باد سبب می‌گردد که بقیه ذرات کیلومترها در نیوار بالا رفته و صدها کیلومتر به‌طور افقی حرکت کنند. وقتی باد آرام می‌شود و یا وقتی بارندگی آن‌ها را در مسیر خود می‌شوید این ذرات دوباره به زمین باز می‌گردند. گرچه این شیوه جالب‌ترین نوع حرکت است، اما به‌ندرت بیش از ۴۰ درصد کل حرکت را در فرسایش بادی شامل بوده و معمولاً از حدود ۱۵ درصد کل حرکت بیشتر نمی‌باشد.

عوامل مؤثر در فرسایش بادی

حساسیت به فرسایش بادی در ارتباط با میزان رطوبت خاک می‌باشد. خاک‌های مرطوب به‌خاطر دگرچسبی بین آب و ذرات خاک به‌وسیله‌ی باد به‌حرکت در نمی‌آیند. بادهای خشک معمولاً قبل از وقوع فرسایش بادی رطوبت خاک را تا زیر نقطه‌ی پژمردگی پایین می‌آورند. سایر عوامل که در فرسایش بادی مؤثرند عبارتند از(۱)سرعت و تلاطم باد، (۲)شرایط سطح خاک، (۳)خصوصیات خاک، (٤)سرشت و جهت گیری پوشش گیاهی.

سرعت باد : میزان سرعت باد، به‌خصوص تند بادها با سرعت بیش از متوسط، در فرسایش مؤثر می‌باشند. آزمایش‌های نشان داده‌اند (جدول ۱۳-۱۷ را مشاهده کنید) که سرعت‌های باد در حدود ۲۵ کیلومتربرساعت (۷ متربرثانیه) برای شروع حرکت خاک لازم می‌باشد. در سرعت‌های بالاتر، حرکت خاک در ارتباط با توان سوم سرعت باد است. بنابراین، میزان خاک حمل شده به‌وسیله‌ی باد با بالارفتن سرعت باد از ۳۰ کیلومتر در ساعت به‌سرعت افزایش می‌یابد.

تلاطم باد : تلاطم باد همچنین در ظرفیت نیوار برای انتقال مواد مؤثر است. اگرچه باد دارای بعضی اثرات مستقیم در برداشت ذرات ریز خاک است، اثرات ذرات انتقال یافته به‌وسیله‌ی باد در برخورد با خاک احتمالاً از اهمیت بیشتری برخوردار است.

ناهمواری سطح[1] : وقتی سطح خاک ناهموار باشد فرسایش بادی دارای شدت کمتر می‌باشد. این ناهمواری می‌تواند به‌وسیله‌ی روش‌های خاک‌ورزی مناسب، که سبب باقی‌گذاشتن کلوخه‌های بزرگ و برجستگی‌ها در سطح خاک می‌شوند، ایجاد گردد. باقی‌گذاشتن خاک‌پوش کلشی (بخش ۶-۶ را مشاهده کنید) احتمالاً روش مؤثرتری برای هدررفت ناشی از باد باشد.

خصوصیات خاک : علاوه بر میزان رطوبت چند خصوصیت دیگر خاک که در فرسایش بادی مؤثرند عبارتند از (۱)پایداری مکانیکی کلوخه‌ها و خاکدانه‌ها، (۲)پایداری سله‌ی سطحی خاک، و (۳)وزن مخصوص ظاهری و اندازه‌ی ذرات فرسایش‌پذیر خاک. بعضی کلوخه‌ها در مقابل سایندگی ذرات حمل‌شده به‌وسیله‌ی باد مقاومت می‌کنند. اگر سله خاک حاصل از بارندگی قبلی وجود داشته باشد، ممکن‌است بتواند با قدرت سایندگی باد مقابله کند. وجود رس، ماده‌ی آلی و سایر عوامل چسباندن در یاری‌رساندن به کلوخه‌ها و خاکدانه‌ها برای مقاومت در برابر سایندگی باد بسیارمهم می‌باشند و این دلیلی است که چرا خاک‌های شنی، که از نظر این عوامل فقیرند به‌سهولت به‌وسیله‌ی باد فرسایش می‌یابند.

ذرات خاک و یا خاکدانه‌هایی با قطر حدود۰/۱ میلی‌متر از ذراتی که دارای قطر کمتر و بیشتر از این مقدار می‌باشند فرسایش‌پذیرترند؛ بنابراین، ذرات شنی ریز به ذرات درشت برخورد کرده و سبب حرکت خزشی آن‌ها می‌شود. ذرات جهشی همچنین با ذرات کوچک‌تر برخورد کرده و آن‌ها را به‌داخل بخش معلق بالا می‌فرستد.

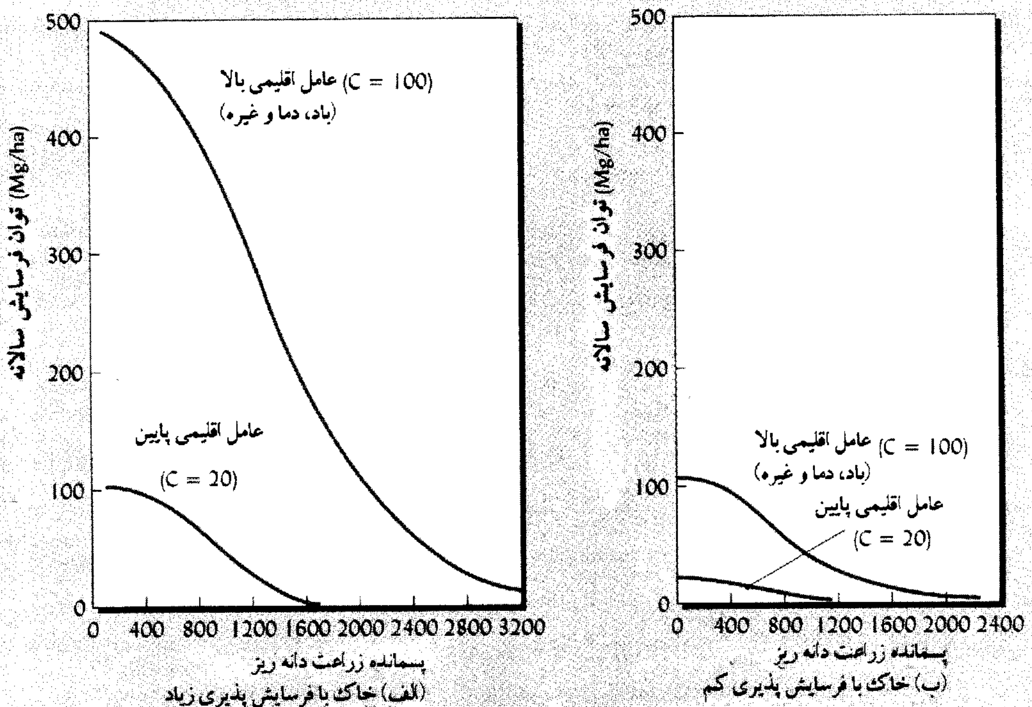
پوشش گیاهی : پوشش گیاهی و یا خاک‌پوش کلشی سبب کاهش خطرات فرسایش بادی می‌شوند، به‌خصوص اگر ردیف‌های کشت عمود بر جهت باد غالب باشد. آن‌ها به‌طور مؤثری سرعت باد را در نزدیکی سطح زمین کاهش می‌دهند. به‌علاوه ریشه گیاهان سبب پیوند ذرات خاک گردیده و آن‌ها به خسارت ناشی از باد کمتر حساس می‌شوند.

۱۲-۱۷ برآورد و مهار فرسایش بادی

معادله‌ی برآورد فرسایش بادی (WEQ) که از اواخر دهه‌ی ۱۹۶۰ مورد استفاده قرار گرفته است، به‌صورت $E=f(ICKLV)$ بیان می‌شود. که در آن E عبارتست از میزان برآورد فرسایش بادی، I عامل فرسایش‌پذیری خاک، C عامل اقلیمی، K عامل ناهمواری و برجستگی خاک، L عامل عرض مزرعه و V عامل پوشش گیاهی.

[1] -Surface roughness

WEQ شامل عوامل عمده‌ی تعیین‌کننده شدت فرسایش است اما چگونگی تعامل این عوامل را بر همدیگر نیز مورد ملاحظه قرار می‌دهد. این مدل به‌سادگی مدل USLE در فرسایش آبی نیست، آشکاربودن تعامل و اثرات عوامل بر یکدیگر در شکل ۳۳-۱۷ دیده می‌شود. عامل فرسایش‌پذیری خاک I در ارتباط با خصوصیات خاک و درجه شیب منطقه مورد نظر می‌باشد. عامل ناهمواری و برجستگی خاک[1] K کلوخه‌ای‌بودن سطح خاک، پوشش گیاهی(V)، و برجستگی‌های موجود در سطح خاک را موردملاحظه قرار می‌دهد. عامل اقلیمی C شامل سرعت باد، دمای خاک، و بارندگی (که در تنظیم رطوبت خاک مؤثر است) می‌باشد. عامل عرض مزرعه L عبارتست از عرض مزرعه در جهت پایین وزش باد. عامل عرض با تغییر جهت باد تغییر می‌کند. بنابراین، برای تعیین آن معمولاً از جهت غالب استفاده می‌شود. عامل پوشش گیاهی V نه‌تنها در ارتباط با میزان پوشش سطح به‌وسیله‌ی پس‌مانده‌های گیاهی است، بلکه در ارتباط با سرشت پوشش نیز می‌باشد. این‌که پوشش زنده است یا مرده، و آیا سرپا بوده و یا بر روی زمین خوابیده می‌باشد.



شکل ۳۳-۱۷ تأثیر پس‌مانده‌های گیاهی غلات دانه‌ریز بر توان فرسایش بادی در خاک‌های با فرسایش‌پذیری بالا(الف)و فرسایش‌پذیری پایین(ب). بادهای شدید خشک و دمای زیاد سبب بروز فرسایش به‌خصوص در خاک‌ها با خصوصیات فرسایش‌پذیری بالا می‌گردند. پس‌مانده‌های گیاهی سطحی می‌توانند برای مهار فرسایش بادی مورد استفاده قرار گیرد

یک مدل تجدیدنظرشده، رایانه‌ای برآورد فرسایش با پیچیدگی و صحت بیشتر، که معادله تجدیدنظرشده فرسایش بادی(RWEQ)[2] نامیده می‌شود ارائه گردیده است. این مدل هنوز یک مدل تجربی بوده و متکی به سال‌ها تحقیق می‌باشد که رابطه‌ی بین شرایط قابل‌مشاهده و شدت فرسایش حاصل را مشخص می‌کند. جدول ۱۴-۱۷ عوامل به‌کار گرفته در مدل RWEQ را که خطر فرسایش بادی را در فواصل ۱۵روزه در سرتاسر سال محاسبه می‌کند، خلاصه نموده است. در هر فاصله‌ی زمانی مدل عوامل پس‌مانده‌های گیاهی، فرسایش‌پذیری خاک و ناهمواری را براساس اطلاعات ورودی درمورد عملیات مدیریتی و شرایط اقلیمی تنظیم می‌کند. برای مثال مدل فرض می‌کند که پس‌مانده‌های گیاهی در طول زمان تجزیه شده، عملیات خاک‌ورزی بقایای سرپا را صاف کرده و بارندگی سبب وارفتن کلوخه‌ها و کاهش ناهمواری می‌شود.

---
[1] -Soil-ridge – roughness factor
[2] - Revised Wind Erosion Equation

دانشمندان و مهندسین در سراسر جهان درحال همکاری برای توسعه‌ی یک مدل پیچیده وابسته به فرایند تحت عنوان نظام برآورد فرسایش بادی WEPS[1]، همانند مدل فرسایش آبی خواهرش WEPP می‌باشند، این مدل رایانه‌ای تمام فرایندهای اساسی تعامل باد را با خاک مورد شبیه‌سازی قرار می‌دهد. دانشمندان به‌طور مداوم درحال توسعه‌ی مدل بوده و نتیجه‌ی برآوردهای آنرا درمقایسه با اطلاعات قابل‌مشاهده در دنیای واقعی مورد آزمون قرار می‌دهند. وزارت کشاورزی آمریکا[2] طرحی برای قابل استفاده‌کردن این مدل دارد، به‌صورتی که بتواند آنرا با WEPP در یک شکل با قابلیت استفاده‌ی آسان برای مصرف‌کننده تلفیق کند. هرچند از آن‌جاکه راه‌اندازی هر دو این مدل‌های متکی به فرایند، نیازمند ارائه‌ی مقدار زیادی اطلاعات در هر زمینه در محلی است که باید فرسایش آن برآورد گردد، باید دید آیا این مدل‌ها هرگز می‌توانند همانند مدل‌های ساده‌تر آزمون شده و صحیح تجربی، که درحال‌حاضر دارای استفاده گسترده‌ای می‌باشند، مورد استفاده قرار گیرند.

جدول ۱۳-۱۷ سرعت آستانه‌ی باد، ارتفاع گذر از حرکت جهشی به تعلیقی، و جرم خاک حمل‌شده به‌وسیله‌ی خزش سطحی، جهشی و تعلیقی در چهار حادثه‌ی فرسایش در اراضی زراعی در منطقه‌ی بیگ‌اسپرینگ[3] ایالت تگزاس

توجه کنید حرکت جهشی شامل اکثر مواد خاکی به‌حرکت درآمده است، و این حرکت عمدتاً در ارتفاع کمتر از ۳۰ سانتی‌متر از سطح زمین رخ می‌دهد. منطقه نیمه‌خشک، با بارندگی سالانه ۴۷۰ میلی‌متر می‌باشد. خاک فاقد پوشش در یک مزرعه صاف با سری لوم شنی ریز(استالف) می‌باشد[4].

تاریخ	آستانه‌ی سرعت باد m/s	ارتفاع گذر از حرکت جهشی به تعلیقی cm	جرم مواد حرکت کرده در عرض مسیرباد kg/m			
			خزش سطحی	جهشی	تعلیق	کل
۲۲ژانویه	۶/۸	۲۲	۰/۸۷	۱۳/۳۳	۰/۷۲	۱۴/۹۲
۵ فوریه	۷	۲۲	۷/۶۸	۱۴۲/۹	۱۳/۴۳	۱۶۴/۰۱
۱۴ مارچ	۷/۲	۲۸	۰/۴۳	۱۵/۹	۳/۸۹	۲۰/۳۱
۲۱ مارچ	۷/۸	۲۷	۰/۱	۲/۴۱	۰/۳	۲/۸

مهار فرسایش بادی

رطوبت خاک : عوامل موجود در معادله فرسایش بادی کلید راه‌های کاهش فرسایش بادی را به‌دست می‌دهند. برای نمونه، از آن‌جاکه رطوبت خاک هم‌چسبی[5] را افزایش می‌دهد، سرعت باد لازم برای جداکردن ذرات با افزایش رطوبت خاک به‌طور شدید افزایش می‌یابد. بنابراین، وقتی آب آبیاری در دسترس باشد، مرطوب‌نمودن سطح خاک درصورت پیش‌بینی بادهای شدید معمول است (شکل۳۴-۱۷). متأسفانه، اکثر فرسایش بادی در مناطق خشک صورت می‌گیرد که در آن‌جا آب آبیاری موجود نمی‌باشد. پوشش گیاهی بادروبی خاک را به‌خصوص وقتی ریشه‌ی گیاه خوب استقرار یافته باشد، کاهش می‌دهد. در مناطق دیم‌کاری، عملیات صحیح ذخیره رطوبت نیازمند نظام خاک‌ورزی آیش تابستانه در بعضی از اراضی است. بادهای گرم‌وخشک سبب کاهش رطوبت در سطح خاک می‌شوند. درنتیجه سایر روش‌های خاک‌ورزی باید در اراضی تحت کشت در این مناطق به‌کار گرفته شوند.

عملیات خاک‌ورزی : برخی از عملیات خاک‌ورزی حفاظتی، که در بخش ۶-۱۷ مورد تشریح قرار گرفت، مدت‌ها قبل از آن‌که به‌عنوان وسیله‌ای برای کاهش فرسایش آبی مشهور گردند، در فرسایش بادی مورد استفاده بوده‌اند. نگهداری سطح خاک به‌صورت ناهموار و حفظ مقداری پوشش گیاهی با استفاده از عملیات مناسب خاک‌ورزی قابل‌انجام است. هرچند پوشش گیاهی باید به‌خوبی در داخل خاک برای جلوگیری از رفته‌شدن آن به‌وسیله‌ی باد محکم گردد. ثابت شده‌است که خاک‌پوش کشی ازاین‌نظر بسیار مؤثر می‌باشد.

---

[1] - Wind Erosion Prediction System
[2] - USDA
[3] - Big spring
[4] - Amarille fine sandy loam (ustalfs)
[5] - Cohesion

جدول ۱۴-۱۷ بعضی از عوامل سازنده‌ی معادله‌ی فرسایش تجدیدنظرشده (RWEQ). برنامه‌ی (RWEQ) مقادیری را برای هر عامل در هر ۱۵ روز در طول سال محاسبه می‌کند. به‌علاوه این مدل اثرات عوامل را بر همدیگر، با استفاده از مقدار یک عامل در تغییر سایر عوامل محاسبه می‌کند.

عامل مدل	عناوین فاکتور فرعی در مدل	نظرات
عامل اقلیم	عامل اقلیم WF [1] شامل سرعت باد، مسیر باد، دمای هوا، تشعشع آفتاب، بارندگی و پوشش برف	به‌وسیله‌ی سایر عوامل مانند رطوبت خاک تغییر می‌یابد.
عوامل خاک	بخش فرسایش‌پذیر [2] EF، آن بخش با قطر کوچک‌تر از ۰/۸۴ میلی‌متر	بر اساس شن، لای، ماده‌ی آلی و پوشش سنگی
	عامل سله بندی خاک [3] SCF	تحت القای بارندگی بوده و به‌وسیله‌ی خاک‌ورزی حذف می‌شود
	ناهمواری سطح [4] SR یک عامل تصادفی با توجه به کلوخه‌ها و یا یک عامل جهت یافته با توجه به برجستگی‌ها	در تعامل با بارندگی و خاک‌ورزی می‌باشد. ---------
	مرطوب بودن خاک [5] SW	با کم‌کردن تبخیر و تعرق از بارندگی محاسبه می‌شود.
عامل خاک‌ورزی	عامل خاک‌ورزی [6] TF وابسته به نوع وسیله، شرایط خاک، زمان خاک‌ورزی	عامل ناهمواری سطحی، عامل سله‌بندی و غیره را تغییر می‌دهد
عامل تپه‌ای بودن	عامل [7] HF که ورودی آن طول و درصد شیب است	در سرعت باد مؤثر است(با بالا رفتن ازتپه زیاد می‌شود و بالعکس)
عامل آبیاری	فاکتور [8] IR	معادل باران اضافه شده
عامل زراعت	عامل پس‌مانده‌های مسطح [9] SLR_f	پوشش خاک به‌وسیله‌ی پس‌مانده‌های گیاهی خوابیده در سطح خاک، که برای هر نبات برآورد شده و تغییرات در زمان به علت تجزیه نیز در نظر گرفته می‌شود
	عامل پس‌مانده‌های ایستاده [10] SLR_S وابسته به نوع زراعت، برداشت، ارتفاع، تراکم نبات می‌باشد	پس‌مانده‌های سرپا سرعت باد را در سطح خاک کاهش می‌دهند، تجزیه‌ی بقایا کندتر از بقایای خوابیده است.
	عامل تاج‌پوشش [11] SLR_C	با رشد نبات تغییر می‌کند.
موانع	موانع (بادشکن درختی) : شامل جهت، تراکم وارتفاع و فاصله	سرعت باد را در طرف پناه‌گاه کاهش می‌دهد.

1 - Weather Factor
2 - Erodible Factor
3 - Soil Crust Fraction
4 - Soil Roughness
5 - Soil Wetness
6 - Tillage Factor
7 - Hill Factor
8 - Irrigtion Factor
9 - Soil Residue Flat
10 - Soil Residue standing
11 - Soil Residue canopy



شکل ۳۴-۱۷ مهار فرسایش بادی در یک منطقه با خاک‌های هیستوسول پرتولید (ساپریست) در میشیگان مرکزی. قبل از جنگل‌تراشی و زه‌کشی، این محل یک منطقه‌ی مردابی نسبتاً جنگلی بود. وقتی این اراضی خشک شوند، خاک‌های هیستوسول تحت خاک‌ورزی بسیار سبک و پرمانند بوده و به فرسایش بادی حساس می‌باشند. ردیف درختان (عمدتاً بید) عمود بر جهت غالب باد کشت شده‌اند تا سرعت باد را کاهش داده و این اراضی پرارزش آلی را از فرسایش حفاظت کنند. مرطوب‌کردن سطح خاک یکی دیگر از راه‌های مؤثر کاهش فرسایش بادی می‌باشد، که در مزارع با رنگ تیره‌تر در عقب (جایی‌که سطح آب زیرزمینی بالا آمده است)و دایره‌های تیره‌تر در جلو عکس که آبیاری بارانی استفاده شده است، مشاهده می‌گردند. توجه کنید که عکس در اول بهار قبل از کشت اکثر محصولات، و قبل از این‌که درختان به‌طور کامل برگ‌دار شوند گرفته شده است

اثرات خاک‌ورزی نه‌تنها به نوع وسیله مورد استفاده وابسته است، بلکه در ارتباط با زمان انجام عملیات نیز می‌باشد. انجام عملیات خاک‌ورزی درصورتی‌که آب کافی برای تشکیل کلوخه‌های درشت وجود داشته باشد می‌تواند فرسایش بادی را به مقدار زیادی کاهش دهد. ممکن‌است انجام عملیات خاک‌ورزی در خاک خشک سبب ایجاد یک سطح گرد نرم گردد، که سبب تشدید مسأله‌ی فرسایش بادی می‌شود. عملیات خاک‌ورزی برای ایجاد یک سطح کلوخه‌ای باید بر جهت باد غالب عمود باشد. به‌همین ترتیب زراعت نواری و نوارهای متفاوت از زراعت و آیش باید بر جهت باد غالب عمود باشند.

موانع[1]: موانع مانند کمربندهای حفاظتی[2] (شکل ۳۵-۱۷ الف) در کاهش سرعت باد در فواصل کوتاه و به‌دام‌اندازی خاک بادرفت مؤثر می‌باشند. ادوات مختلفی برای مهار بادروبی خاک‌های شنی، لومی‌شنی، خاک‌های آلی شخم‌خورده (حتی در مناطق مرطوب) مورد استفاده‌اند. بادشکن‌ها و علف‌های پایدار و بوته‌ها مخصوصاً از این بابت مهم می‌باشند. نرده‌های چوبی و پرده‌های کنفی هرچند به‌عنوان بادشکن از درختانی مانند بید کمتر مؤثرند، اما اغلب ترجیح داده می‌شوند، زیرا می‌توانند با تغییر محصولات و عملیات زراعی جابه‌جا شده و تغییر مکان یابند. کشت چاودار در نوارهای باریک در عرض مزرعه در بعضی مواقع در اراضی با خاک آلی وخاک شنی معمول می‌باشد (شکل ۳۵-۱۷ را مشاهده کنید). ردیف‌های باریک از این علف‌های چندساله مانند علف گندم پاییزه برای مهارکردن مجموعه‌ی فرسایش بادی و به‌دام‌اندازی برف‌های زمستانی در دشت‌های شمالی آمریکا مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.

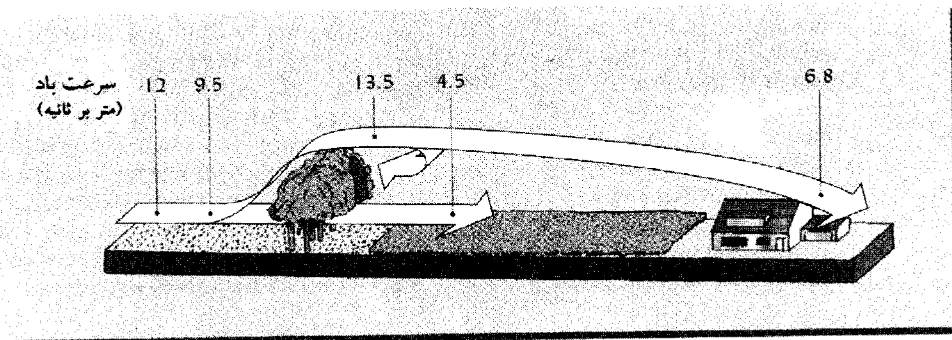
---

1 - Barriers

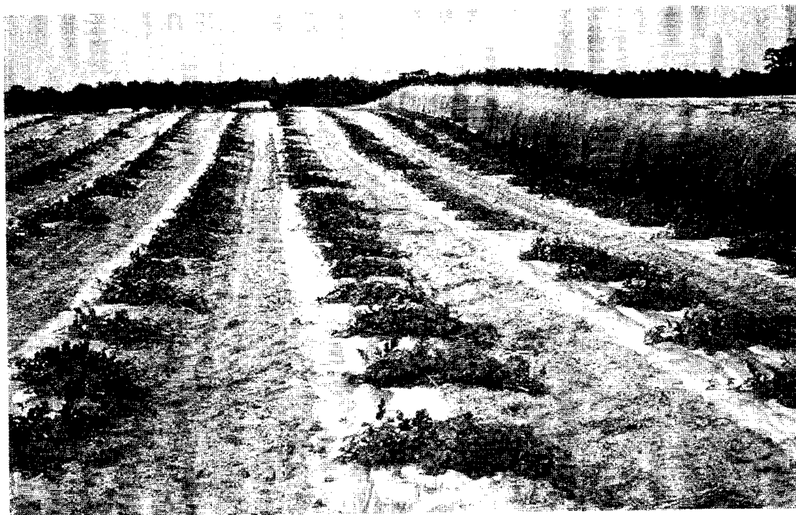
2 -Shelter belts



(الف)



(ب)



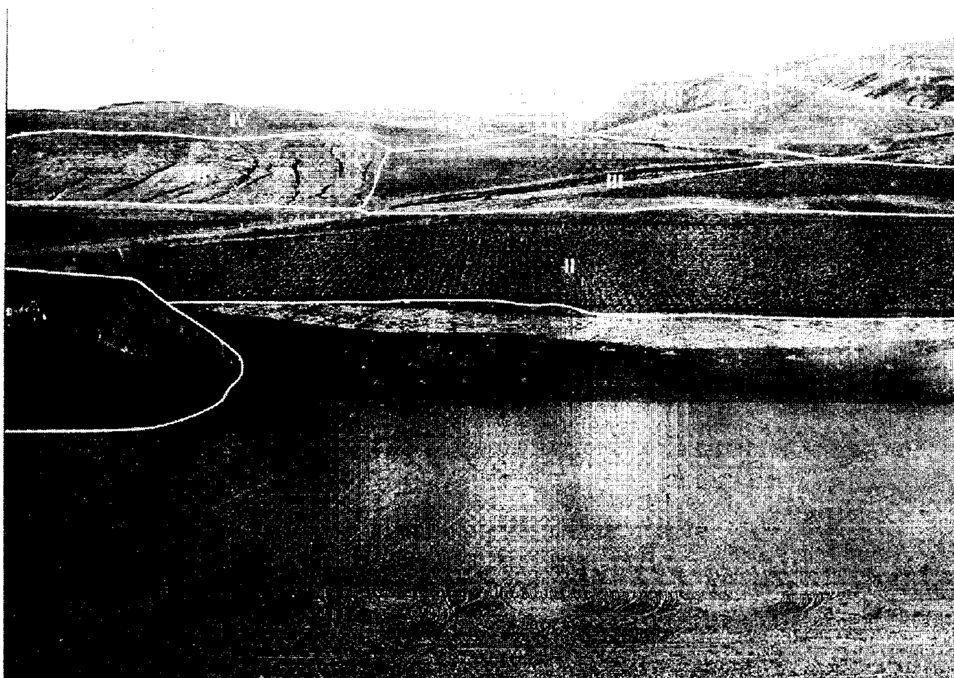
(ج)

شکل ۳۵-۱۷ بادشکن‌ها برای کاهش فرسایش بادی. (الف) بوته‌ها و درختان بادشکن‌های مناسبی ایجاد کرده و به مزارع کشاورزان و ساختمان‌های اطراف در داکوتای شمالی زیبایی می‌دهد. (ب) اثر بادشکن بر سرعت باد. باد به‌وسیله‌ی درختان به‌طرف بالا رانده شده و قبل از رسیدن به بادشکن سرعت آن کاهش می‌یابد. درطرف پشت بادشکن کاهش بیشتر در سرعت باد به‌وجودمی‌آید.، اثرات تا ۲۰ برابر ارتفاع درختان مشهود است. (ج) نوارهای باریک از چاودار همانند یک بادشکن کوچک برای حفاظت هندوانه‌ها از فرسایش بادی در یک خاک شنی لومی در دشت‌های ساحلی میانی اقیانوس اطلس عمل می‌کنند.

۱۷-۱۳ طبقه‌بندی قابلیت اراضی به‌عنوان راهنمای حفاظت خاک

نظام طبقه‌بندی قابلیت اراضی، که به‌وسیله‌ی وزارت کشاورزی آمریکا تدوین شده است از دهه‌ی ۱۹۵۰ برای ارزیابی استفاده‌های مناسب از انواع مختلف اراضی مورد استفاده قرار گرفته است. این نظام در تعیین انواع استفاده‌های اراضی و عملیات مدیریتی که بتواند فرسایش خاک، خصوصاً ناشی از بارندگی را به حداقل برساند بسیار یاری‌دهنده است.

این نظام از ۸ کلاس قابلیت برای تعیین درجه محدودیت‌هایی که در هر نوع استفاده موجود است استفاده می‌کند (شکل ۳۶-۱۷)، کلاس I دارای کمترین محدودیت و کلاس VIII دارای بیشترین محدودیت است، هر کلاس طرز استفاده ممکن‌است دارای چهار کلاس فرعی بوده که مشخص‌کننده‌ی نوع محدودیت مورد نظر می‌باشد که عبارتند از :خطر فرسایش(e)؛ مرطوب بودن، زه‌کشی و سیل‌گیری (w)؛ محدودیت‌های منطقه‌ی ریشه مانند اسیدیته، تراکم و عمق کم(s)؛ محدودیت‌های اقلیمی مانند فصل کوتاه رشد(c). زیر کلاس فرسایش(e) معمول‌ترین محدودیت بوده و توجه ما در این‌جا بر آن‌ها معطوف خواهد شد. برای مثال، اراضی کلاس IIe دارای حساسیت اندک به فرسایش است، درحالی‌که کلاس VIIe فوق‌العاده به فرسایش حساس می‌باشند. شکل ۳۷-۱۷ شدت استفاده مجاز از هر یک از این کلاس‌های قابلیت اراضی را برای جلوگیری از فرسایش (و یا سایر مسایل مربوط به سایر زیرکلاس‌ها) نشان می‌دهد.



شکل ۳۶-۱۷ کلاس‌های قابلیت اراضی در شهرستان سان‌ماتئو در ایالت کالیفرنیا، دامنه‌ای از کلاس‌های اراضی تقریباً مسطح در جلو عکس(کلاس I) که می‌تواند به‌طور شدید مورد کشت‌وکار قرار گیرد، تا اراضی بسیار فرسایش یافته تپه‌ماهوری(کلاس‌های VII،VIII). اگرچه پستی و بلندی و خطرات فرسایش در این‌جا مورد تأیید قرار گرفته‌اند، باید به خاطر داشت که سایر عوامل مانند زه‌کشی، سنگ‌داربودن و خشکسالی نیز سبب محدودیت استفاده از اراضی شده و در تعیین کلاس اراضی دخیلند.

جدول ۱۵-۱۷ خلاصه‌ای از اراضی دارای محدودیت‌های عمده برای استفاده را در آمریکا ارائه می‌دهد. به‌طور کلی مسایل فرسایش و رسوب حادترین محدودیت در ۶۰ درصد اراضی می‌باشند. مسایل مرطوب‌بودن و کم‌عمق‌بودن هریک محدودیت را در ۲۰ درصد اراضی ایجاد می‌کنند.

در ایالات متحده‌ی آمریکا، کلاس‌های VIII،V،I هریک کمتر از ۳ درصد اراضی دولتی را تشکیل می‌دهند. سایر کلاس‌ها بسیار معمول‌ترند. حدود ۲۰ درصد اراضی در هریک از کلاس‌های VI،III،II وVII و حدود ۱۴ درصد اراضی در کلاس IV قرار دارند. این بدان‌معنی است که حدود ۴۳ درصد اراضی در ایالات متحده (۲۴۲ میلیون هکتار) برای کشت‌وکار معمول مناسب می‌باشند(کلاس‌های III،II،I). ۱۴ درصد دیگر (۷۸ میلیون هکتار) برای کشت گیاهان زراعی در حاشیه قرار دارند. بقیه‌ی اراضی اساساً برای مرتع و جنگل مناسب بوده و عمدتاً برای این مقاصد به‌کار می‌روند. تشریح مختصر از کلاس‌های قابلیت اراضی به‌دنبال می‌آید.

کلاس I: این خاک‌ها عمیق و دارای زه‌کشی مناسب بوده و دارای پستی‌وبلندی نسبتاً مسطح می‌باشند (شکل ۳۶-۱۷ را مشاهده کنید)، این کلاس در استفاده دارای محدودیت اندکی می‌باشند. این خاک‌ها می‌توانند به‌طور مداوم برای زراعت‌های ردیفی، خزانه‌ی درختان و یا هر نوع استفاده‌ی کم‌نهاده‌تر که در شکل ۳۷-۱۷ آمده است مناسب می‌باشند. برای اکثر استفاده‌ها، این خاک‌ها بالاترین تولید را با کمترین هزینه ارائه می‌کنند.

کلاس II :خاک‌های این کلاس از بعضی محدودیت‌ها برخوردارند که امکان انواع استفاده را محدود کرده و یا نیازمند عملیات متوسط حفاظت خاک می‌باشند. خاک‌ورزی و تولید محصولات ردیفی باید محدود گشته و یا بعضی عملیات حفاظتی(خاک‌ورزی حفاظتی، آبراهه چمنی و نوارهای تراز) باید اعمال شوند.

کلاس III: خاک‌های این کلاس دارای محدودیت‌های شدیدی می‌باشند که امکان استفاده از آن‌ها را برای نباتات کاهش داده و یا نیازمند عملیات مخصوص حفاظتی و یا هر دو ساخته است. همان محصولات در کلاس‌های I وII می‌توانند در کلاس III نیز کاشته شوند، اما زراعت‌هایی که ایجاد پوشش برروی خاک می‌کنند مانند علف‌ها و گیاهان نیامدار باید در تناوب مربوطه به‌طور فراوان به‌کار گرفته شوند. گستره‌ی اراضی مورد استفاده برای زراعت‌های ردیفی بسیار محدود می‌شود. برای زیرکلاس **w** ممکن‌است شبکه‌ی زه‌کشی مورد نیاز باشد، ممکن است احتیاط خاص و جدول زمان‌بندی برای عملیات برداشت الوار نیز لازم باشد.

کلاس IV : خاک‌های این کلاس می‌توانند برای کشت‌وکار مورد استفاده قرار گیرند، اما دارای محدودیت‌های شدیدی در انتخاب‌های زراعت و عملیات مدیریتی می‌باشند. اگر این اراضی مورد کشت قرار گیرند، محصولات زراعی باید دارای بوته‌های نزدیک به هم باشند (گندم و یا جو) و گیاهان چمنی و یا علوفه‌ای باید به‌طور گسترده‌ای مورد کشت قرار گیرند. گیاهان ردیفی نمی‌توانند بدون خطر کشت شوند، مگر در روش بدون عملیات خاک‌ورزی[1] (صفر خاک‌ورزی). انتخاب نبات درصورت وجود رطوبت زیاد (زیرکلاس **w**) و یا خطر فرسایش ممکن است دچار محدودیت گردد. برای اراضی زراعی تحت کشت و کار سکوبندی، نوارهای تراز ویا سایر عملیات حفاظت خاک لازم می‌باشد. برای برداشت الوار در جنگل نیز روش‌های خاصی لازم می‌باشند.

کلاس V: این اراضی به‌طور کلی برای تولید محصولات زراعی به‌دلیل عواملی غیر از خطر فرسایش، مناسب نمی‌باشند. این محدودیت‌ها شامل ۱-طغیان بیش‌ازحد رودها ۲- کوتاه‌بودن فصل رشد برای نباتات زراعی ۳- خاک‌های سنگی و یا صخره‌ای ۴- اراضی ماندابی که انجام زه‌کشی آسان نیست. در این کلاس اراضی، مراتع می‌توانند توسعه و بهبود یابند.

کلاس VI : خاک‌ها در این اراضی دارای محدودیت‌های بسیار شدیدی می‌باشند (به‌خصوص، شیب‌های تند، و خطر زیاد فرسایش)که استفاده‌ی آن‌ها را به مرتع طبیعی، مرتع مصنوعی، درخت‌زار و یا حیات‌وحش منحصر می‌سازد. ورود به جنگل باید محدود گردیده و احتیاط خاص در ساخت جاده‌های دسترسی جنگل معمول گشته و فناوری برداشت متناوب الوار مورد استفاده قرار گیرد.

کلاس VII محدودیت‌های شدید در این اراضی استفاده از آن‌ها را به چرای مدیریت شده، درخت‌زار و یا حیات‌وحش محدود می‌کند. محدودیت‌های فیزیکی همانند کلاسVI است با این تفاوت که آن‌ها چنان شدیدند که بهبود مراتع غیرعملی است. ممکن است برداشت الوار به‌وسیله‌ی روش طناب سیمی و بالن لازم باشد فقط باید محدوده‌های کوچکی از جنگل برداشت شده و ورود به جنگل فوق‌العاده محدود گردد.

کلاس VIII در این کلاس قابلیت اراضی، خاک‌ها نباید برای هر نوع تولید تجاری محصولات گیاهی مورد استفاده باشند، طرز استفاده به تفرج‌گاه، حیات‌وحش، تأمین آب و یا مقاصد زیباشناسی محدود می‌شود. این اراضی شامل سواحل شنی، آبرفت رودخانه‌ها و یا بیرون‌زدگی‌های سنگی می‌باشند.

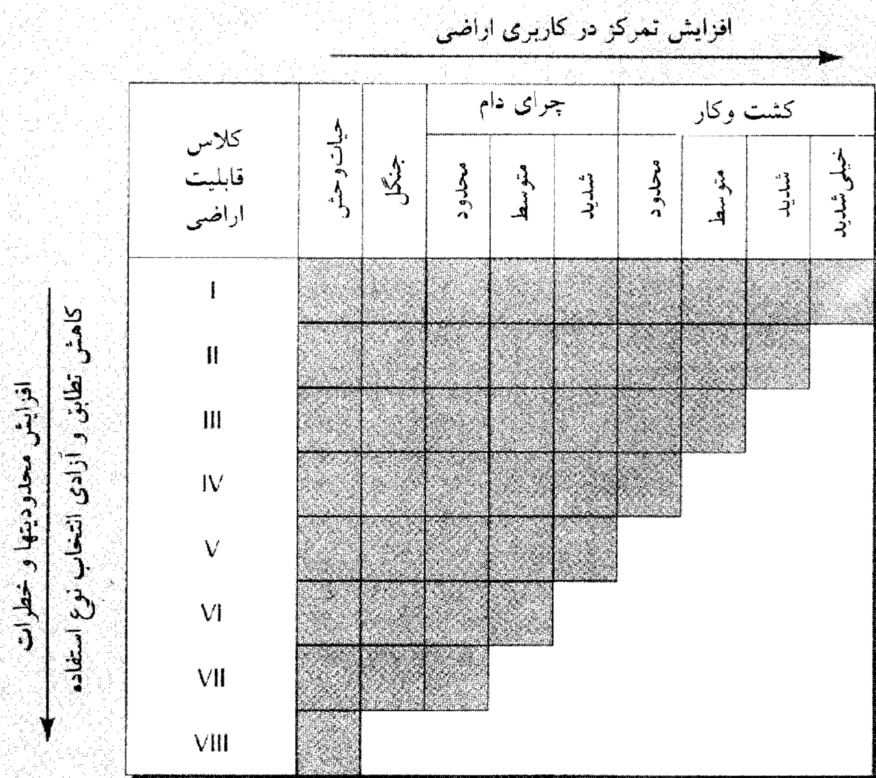
طرح طبقه‌بندی قابلیت استفاده از اراضی استفاده عملی را که می‌توان از مطالعات خاک‌شناسی به‌عمل آورد تشریح می‌کند (بخش ۷-۱۹ را مشاهده کنید). بسیاری از خاک‌ها که به‌وسیله‌ی مطالعه‌کننده‌ی خاک در روی یک نقشه جدا می‌شوند از نظر بی‌خطرترین و بهترین استفاده در درازمدت مورد نظر قرار می‌گیرند. ۸ کلاس طبقه‌بندی قابلیت اراضی به نقطه‌ی شروع ارائه طرح‌های طرز استفاده از اراضی تبدیل گردیده است که سبب ارتقای استفاده بخردانه و حفاظت از اراضی به‌وسیله‌ی هزاران زارع، دامدار و سایر مالکان اراضی شده است.

---

[1] -Zero Tillage- No Tillage

جدول ۱۵-۱۷ درصد اراضی با محدودیت‌های عمده در کلاس‌های مختلف قابلیت استفاده از اراضی. فرسایش و رسوب مهمترین محدودیت می‌باشند، اما مرطوب‌بودن و کم‌عمق‌بودن به‌وفور وجود دارند.

کلاس کاربری	درصد اراضی با محدودیت عمده‌ی مشخص‌شده			
	فرسایش و رسوب	مرطوب بودن	عمق کم	خطر اقلیمی
II	۵۱	۳۴	۸	۷
III	۶۷	۲۲	۹	۲
IV	۶۹	۱۶	۱۴	۱
VI	۶۲	۸	۲۶	۳
VII	۴۷	۶	۴۵	۲
کل	۵۹	۱۸	۲۱	۳



شکل۳۷-۱۷ تنوع و شدتی که هرکدام از کلاس‌های قابلیت اراضی می‌توانند بدون‌خطر مورد استفاده قرار گیرد. به افزایش محدودیت‌ها در استفاده‌ی بدون خطر از اراضی با عبور از کلاس I به کلاس VIII توجه کنید

۱۴-۱۷ پیشرفت در حفاظت خاک

فرسایش خاک

فرسایش خاک در آمریکا هنگامی‌که اولین مهاجران اروپایی درختان جنگلی را برای کشت‌وکار در اراضی شیب‌دار در بخش مرطوب شرقی کشور قطع کردند، تشدید گردید. فرسایش خاک عامل کاهش توان تولیدی اراضی بود که طی زمان سبب ترک آن‌ها و مهاجرت مردم به سمت غرب کشور برای پیداکردن اراضی زراعی جدید گردید.

به دنبال کسادی جهانی و خشکسالی‌های گسترده‌ی اول دهه‌ی ۱۹۳۰ که سبب تشدید فقر و فلاکت روستاییان و جابه‌جایی میلیون‌ها مردم گردید، ملت توجه خود را به تخریب شدید خاک خود معطوف داشت. در سال ۱۹۳۰ دکتر هـ هـ بنت[1] و همکاران بـه خسارات به‌عمل آمده پی برده و حمایت دولت فدرال را برای انجام فعالیت‌های مهار فرسایش کسب کردند. حال بعد از ۷۰ سال تلاش‌های به‌عمل آمده درمورد حفاظت خاک، فرسایش خاک هنوز یک مسأله برجسته در نصف اراضی زراعی کشور می‌باشد.

در دهه‌های ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ پیشرفت‌های قابل‌توجهی در کاهش فرسایش خاک با اعمال عملیات فیزیکی مانند اجرای کشت نـواری، سکوبندی و بادشکن با تشویق و حمایت سازمان‌های دولتی حاصل گردید. بعضی از این پیشرفت‌ها هنگامی‌که مشخص شد که تراس‌ها و بادشکن‌ها موانعی در مقابل سیاست تولید محصولات دهه ۱۹۷۰ (کشت از حصار تا حصار[2]) می‌باشد، پیشرفت‌های انجام شده معکوس گردید. سپس در دهه ۱۹۸۲ تا ۱۹۹۲ پیشرفت نسبتاً قابل‌توجهی (جدول ۱۶-۱۷) در فرسایش خاک عمدتاً درنتیجه دو اقدام به‌دست آمـد که عبارتند‌از۱- گسترش خاک‌ورزی حفاظتی(بخش ۶-۱۷)، و ۲- اعمال تغییرات در کاربری‌های اراضی به‌عنوان بخشی از برنامـه حفـظ ذخایر اراضی. پیشرفت در این دو جبهه درحال تداوم است. هرچند حدود ۳/۱ اراضی زراعی تحت کشت‌وکار هنـوز بیـشتر از ۱۱ تـن درهکتار درسال خاک را ازدست می‌دهند. این رقم حداکثر هدررفتی است که می‌تواند بدون کاهش توان تولید در اکثر خاک‌ها، بـه‌طـور پایدار مورد قبول باشد.

جدول ۱۶-۱۷ فرسایش آبی و بادی در اراضی زراعی آمریکا در سال‌های ۱۹۸۲و۱۹۹۲

بخشی از کاهش کل فرسایش خاک به‌خاطر کاهش اراضی از ۱۶۶ میلیون هکتار در سال ۱۹۸۲ به ۱۵۰ میلیون هکتار در سال ۱۹۹۲، عمدتاً به‌خاطر برنامه‌های دولتی بوده است.

سال	متوسط میزان فرسایش سالانه در واحد سطح، تن در هکتار			کل فرسایش خاک سالانه، میلیارد تن
	فرسایش بادی	فرسایش آبی	مجموع فرسایش بادی وآبی	
۱۹۸۲	۹/۲	۷/۴	۱۶/۶	۲/۷۵
۱۹۹۲	۶/۹	۵/۶	۱۲/۵	۱/۸۸
تغییرات	۲۵- درصد	۲۴- درصد	۲۵- درصد	۳۲- درصد

برنامه حفاظت ذخایر اراضی[3] (CRP)

بخش عمده‌ی کاهش فرسایش خاک (حدود ۶۰ درصد) حاصل شده در آمریکا از سـال ۱۹۸۲ در ارتبـاط بـا برنامـه‌هـای دولتـی و پرداخت‌های دولت به زارعین برای تبدیل اراضی خود به مراتع و جنگل‌ها بوده است. استقرار گیاهان مرتعی و یا درختان در این اراضـی زراعی سابق سبب کاهش فرسایش شیاری و بین‌شیاری از ۱۹/۳ به ۱/۳ مگاگرم درهکتار و فرسایش بادی از۲۴ به ۲/۹ مگاگرم در هکتـار شده است. بین سال‌های ۱۹۸۲ تا ۱۹۹۲، ۱۳میلیون هکتار از اراضی زراعی به این استفاده‌های غیرزراعی از طریق برنامه حفاظـت ذخـایر برگشت داده شده‌اند. فقط نصف این مساحت(حدود ۷ میلیون هکتار) به‌صورت اراضی با فرسایش‌پذیری بالا[4] بـوده‌انـد. در سـال ۱۹۹۵ طرح CRP به‌منظور هدف قراردادن این اراضی و سایر اراضی با حساسیت زیست‌محیطی مورد بازبینی قرار گرفت (شکل ۳۸-۱۷ الـف). در سال ۱۹۹۷ توزیع اراضی CRP در کشور همخوانی بسیار نزدیکی با توزیع اراضی HEL داشته است و این بدان‌معنی است که اراضی با بیشترین حساسیت به فرسایش آن‌هایی هستند که از تولید محصولات زراعی خارج شده و به زیرکشت مراتع و جنگل‌ها برده شـده‌انـد (شکل ۳۸-۱۷ ب).

---

1 -H.H.Bennet

2- «Fence row to fence row» این سیاست به‌دنبال ایجاد سازمان OPEC در سال ۱۹۷۲، در آمریکا و کشورهای غربی به‌منظور کشت در سطوح هرچه وسیع‌تر برای تولید هرچه بیشتر محصولات غذایی و استفاده از آن به‌عنوان سلاحی در مقابل سلاح نفت موردتوجه قرار گرفت، که بعداً از گردونه خارج شد (به نقل از دکتر کوثر)

3 -Conservation Rreserve Program

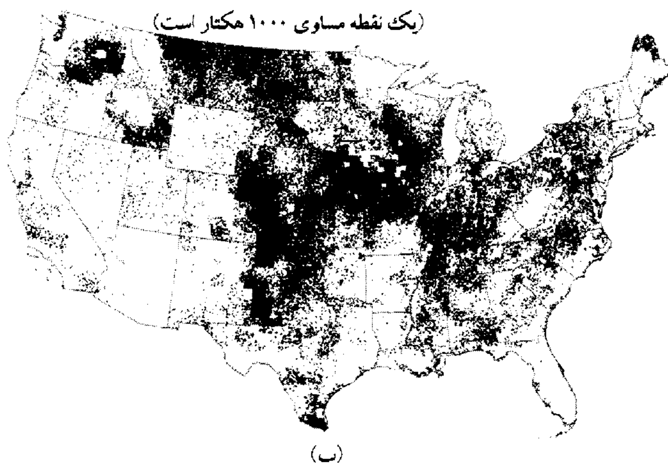
4 -Highly Erodible Land(HEL)

اراضی با فرسایش پذیری بالا(HEL) به‌وسیله‌ی سازمان حفاظت منابع طبیعی آمریکا چنین تعریف شده است «که آن اراضی که طبق برآورد معادله USLE بر روی خاک فاقد پوشش محافظت نشده ۸ برابر مقدار پارامتر (T) فرسایش ایجاد نمایند. $R \times K \times LS \geq 8T$ «

CRP عبارتست از برنامه‌ای که به‌وسیله‌ی آن پرداخت‌کننده‌گان مالیات به زارعین برای ترک کشت‌وکار در بخشی از زمین خود و کشت درختان و مراتع به‌جای آن‌ها، مالیات می‌دهند (برای درختان مالیات بیشتری داده می‌شود). توافق اجاره‌ی زمین (اجاره‌نامه) برای ۱۰ تا ۱۵ سال به‌عمل می‌آید که در این مدت اراضی دست‌نخورده باقی می‌مانند. منافع ملی نه‌تنها در کاهش بیشتر فرسایش و آلودگی ناشی از رسوبات تجلی می‌یابد، بلکه در افزایش شدید جمعیت حیات‌وحش، مانند پرندگان و حیوانات نیز نهفته است که از زیستگاه حفاظت شده جدید استفاده می‌برند. وقتی نوارهای حفاظتی در امتداد رودخانه‌ها (نوار حفاظتی کنار رودخانه)[1] با برنامه CRP تلفیق گردد مزایای بهبود کیفیت آب نیز بر آن افزوده خواهد شد.



(الف)



(ب)

شکل ۳۸-۱۷ توزیع اراضی در ایالات متحده(الف) اراضی ثبت‌شده در برنامه CRP)و(ب) اراضی که بسیار فرسایش‌پذیر می‌باشند(HEL) توجه کنید در سال ۱۹۹۷ به‌نظر می‌رسد توزیع کاملاً مشابه باشد که بیانگر این است که اراضی بسیار حساس به فرسایش همان‌هایی هستند که از تولید خارج شده و به زیر کشت علف و درخت برده شده‌اند.

تطابق برنامه‌های حفاظت خاک با نیازهای زارعین کم زمین

هرچند پیشرفت در دهه‌های قبل راضی‌کننده است، اما فرسایش خاک هنوز خیلی زیادست تلاش‌های مداوم برای حفظ خاک و نگهداری آن در محل اصلی باید انجام پذیرد. در ایالات متحده حدود ۳۰ میلیون هکتار از اراضی خیلی فرسایش پذیر به طور میانگین سالانه به ازدست‌دادن ۱۵ مگاگرم خاک درهکتار در فرسایش آبی، و معادل آن در فرسایش بادی ادامه می‌دهند. به‌رغم پیشرفت‌های قابل‌توجه به‌عمل آمده، نظام خاک‌ورزی حفاظتی در بیشتر از نصف اراضی ملی تطابق نیافته است، و کسی نمی‌داند هنگامی‌که سررسید اجاره‌نامه‌ها منقضی گردد چه برسر CRP خواهدآمد. مبارزه برای به‌زیرمهمیزآوردن فرسایش نه‌تنها درآمریکا بلکه در سراسر جهان تازه آغاز شده است.

در بسیاری از مناطق جهان اراضی موجود برای هر زارع جهت تولید محصولات غذایی چنان محدود است که او نمی‌تواند توصیه‌های دلربای طبقه‌بندی قابلیت استفاده اراضی را که در فصل ۱۳-۱۷ تشریح گردید، دنبال کند. بسیاری از زارعین باید تمام اراضی

[1] -Riparian buffer strips

دارای قابلیت تولید مواد غذایی را برای رفع گرسنگی مورد استفاده قرار دهند. این زارعین معمولاً درک می‌کنند که کشت‌وکار در اراضی فرسایش‌پذیر زندگی آرام آن‌ها و بچه‌های آن‌ها را در آینده به مخاطره خواهد انداخت، اما آن‌ها انتخاب دیگری ندارند. انتخاب استفاده‌ی غیرکشاورزی برای این مردم، و یا پیداکردن نظام‌های پایدار در روی این اراضی الزامی می‌باشد.

خوشبختانه بعضی از زارعین و دانشمندان از طریق روش‌های سنتی طولانی سازگاری، و یا نوآوری و تحقیق موفق به ارائه نظام‌های کشت‌وکار شده‌اند که می‌تواند ضمن تولید غذا و منافع، این منابع فرسایش‌پذیر را نیز حفظ کنند. نمونه‌ای از این روش‌ها شامل باغات خانگی سنتی کوه‌های مرطوب سریلانکا است که در آن‌ها مجموعه‌ای از درختان بلند میوه و درختان فندقه‌دار همانند جنگل بارانی در ترکیب با همدیگر قرار گرفته و زیراشکوب آن‌ها را بوته‌های فلفل، درختچه‌های قهوه و گیاهان چاشنی برای برداشت محصولاتی باارزش. ضمن حفظ خاک در زیرپوشش این گیاهان چندساله تشکیل می‌دهد. مثال دیگر از آمریکای مرکزی است که در آن‌جا کشاورزان یاد گرفته‌اند کشت متراکمی از لوبیای مخملی[1] (موکونا) و یا سایر نباتات نیامداران رونده به‌عمل آورند، تا به‌وسیله‌ی داس ساطوری قطع شده و یک خاک‌پوش حفاظت‌کننده خاک، ذخیره‌کننده رطوبت و محدودکننده علف هرز در اراضی زراعی شیب‌دار ایجاد کنند. در آسیا اراضی پرشیب با دقت هرچه بیشتر چنان سکوبندی شده‌اند که امکان تولید محصولات غذایی در آن‌ها فراهم است، حتی مزارع برنج کوهپایه‌ای[2] در اراضی فوق‌العاده پرشیب بدون فرسایش قابل توجه ایجاد گردیده‌اند.

بسیاری از نمونه‌ها در آمریکا و سراسر جهان روشن می‌سازند وقتی حکومت‌ها برای ایجاد عملیات حفاظت خاک زارعین را در رودربایستی و یا فشار قرار داده و یا با پرداخت پول آن‌ها را مجاب می‌کنند، به‌نظر نمی‌رسد که نتایج عمر چندانی داشته باشد. معمولاً زارعین عملیات ناخواسته را به محض برداشت فشار رها می‌سازند. از طرف دیگر اگر دانشمندان و متخصصین حفاظت خاک به زارعین برای ارائه و تطبیق نظام‌های کشاورزی که زارعین احساس می‌کنند برای آن‌ها و زمینشان مفید است کمک کنند در آن‌صورت پیشرفت مؤثر و پایدار حاصل خواهد آمد. تجربه‌ی موجود در کشور آمریکا در مورد نظام‌های خاک‌ورزی حفاظتی، و نظام‌های کشت‌وکار خاک‌پوش در آمریکای مرکزی، و موانع گیاهی تراز در آسیا نشان داده‌اند که زارعین می‌توانند در ارائه عملیاتی که برای زمین و منافع آن‌ها مفید است (کار بدون‌باخت) مساعدت کنند.

۱۷-۱۵ نتیجه‌گیری نهایی

فرسایش تسریعی یکی از حادترین مسایل اجتماعی و زیست‌محیط است که امروزه بشریت با آن مواجه می‌باشد. فرسایش سبب تنزل کیفیت خاک شده و توان تولید آن را در محصولاتی که مردم و احشام به آن متکی می‌باشند کاهش می‌دهد. اهمیت همسنگ با آن خسارت زیاد فرسایش در مناطق پایین‌دست در مخازن، دریاچه‌ها، آبراهه‌ها، بنادر و محدوده تأمین آب شهرها می‌باشد. فرسایش بادی سبب تولید گردوغبار معلق گردیده که برای سلامت انسان‌ها بسیار خطرناک است.

تقریباً حدود ۴ میلیارد تن خاک هر سال تنها از اراضی کشور آمریکا فرسایش می‌یابد. نصف این فرسایش در اراضی زراعی است، بقیه از مناطق جنگلی برداشت الوار، مراتع و مناطق ساختمان‌سازی حاصل می‌شود. در حدود ۳/۱ از اراضی زراعی میزان فرسایش از مقادیری که به‌نظر قابل تحمل می‌رسند بیشتر است.

رواناب طی فرسایش صفحه‌ای و شیاری اکثر رسوبات را در مناطق مرطوب حمل می‌کند. آبکندها، که براثر رگبارهای شدید و استثنایی ایجاد می‌شوند، اکثر فرسایش را در مناطق خشک‌تر به‌خود اختصاص می‌دهند. در بسیاری از مناطق خشک‌تر به‌خصوص در فصول وزش بادهای شدید، هنگامی که خاک فاقد پوشش و دارای رطوبت اندک است باد عامل اصلی فرسایش به‌شمار می‌رود.

حفاظت خاک از یغمای آب و باد مؤثرترین روش برای محدودکردن فرسایش می‌باشد. در اراضی زراعی و جنگل‌ها، این حفاظت عمدتاً به‌وسیله‌ی پوشش نباتات و بقایای گیاهی آن‌ها انجام می‌شود. عملیات خاک‌ورزی حفاظتی سبب حفظ پوشش گیاهی حداقل در ۳۰ درصد خاک می‌گردد. گسترش تطابق این عملیات سبب دست‌یابی به کاهش قابل‌توجه فرسایش در طول دو دهه‌ی گذشته شده است. تناوب گیاهی که نباتات چمنی و زراعت‌های متراکم را در بر داشته باشد همراه با عملیاتی مانند خاک‌ورزی تراز، کشت نواری و سکوبندی، همچنین در مبارزه با فرسایش در مناطق زراعی مؤثر می‌باشد.

---

[1] -Velvet bean(*Mucuna*)
[2] -Paddy

در مناطق جنگلی، اکثر فرسایش همراه با عملیات برداشت و ایجاد جاده‌های جنگلی است. به‌منظور حفظ توان تولید جنگل در آینده و کیفیت آب درحال‌حاضر، عملیات برداشت الوار باید بسیار انتخابی بوده و هزینه بیشتری برای ایجاد جاده‌های مناسب پرداخت گردد مناطق ساخت‌وساز جاده‌ها، ساختمان و سایر طرح‌های مهندسی بسیاری از خاک‌ها را در مناطق پراکنده کرده و فاقد پوشش گیاهی می‌کند که سبب ایجاد مسایل حاد فرسایش می‌شود. مهار رسوب از مناطق ساختمان‌سازی نیازمند مرحله‌بندی قطع درختان و پوشش‌دادن خاک به‌طور طبیعی یا مصنوعی، و ایجاد موانع مختلف و استخرهای نگهداری رسوب است. ممکن‌است به‌کارگیری این عملیات پرهزینه باشد، اما هزینه‌هایی که درصورت مصامحه و مهارنکردن رسوب، جامعه باید پرداخت کند، بسیار سنگین‌تر است، وقتی عملیات ساختمانی تکمیل گردید، میزان فرسایش در مناطق شهری معمولاً به اندازه‌ی میزان فرسایش در مناطق تحت پوشش طبیعی پایین می‌باشد.

نظام‌های مهار فرسایش باید در همکاری با کسانی که از زمین بهره می‌برند، به‌خصوص افراد فقیر که نیازهای فوری زندگی آن‌ها بر سرنوشت آینده‌ی اراضی سایه می‌اندازد، ابداع گردد. همان‌طورکه در فیلم رودخانه، فیلم مستند کلاسیک که در تولد دوباره هوشیاری آمریکاییان از فرسایش خاک در دهه‌ی ۱۹۳۰ تهیه گردیده به‌طور موجز آمده است: «اراضی فقیر، مردم فقیر را می‌سازند و مردم فقیر اراضی فقیر را».

سووالات مطالعه‌ای

۱- تفاوت بین فرسایش زمین‌شناسی و فرسایش تسریعی را تشریح کنید. آیا تفاوت در بین این دو در مناطق مرطوب بیشتر است یا در مناطق خشک؟

۲- وقتی فرسایش به‌وسیله‌ی آب و یا باد رخ می‌دهد، سه نوع زیان‌هایی که به‌دنبال وقوع فرسایش در اراضی بروز می‌کند، چیست؟ ۵ نوع خسارت مهم که فرسایش در مناطقی خارج از محل وقوع خود به‌بار می‌آورد چیست؟

۳- مقدار معمول T چه‌قدر است، این واژه چه معنایی دارد؟ توضیح دهید چرا به خاک‌های به‌خصوص رقم T بزرگ‌تری از سایر خاک‌ها اختصاص داده شده است.

۴- سه مرحله‌ی اصلی در فرایند فرسایش آبی را تشریح کنید.

۵- بسیاری از مردم بر این باورند که میزان فرسایش خاک در اراضی یک حوزه‌ی آبخیز (A در معادله جهانی هدررفت خاک) همان مقدار رسوبی است که به‌وسیله‌ی رودخانه‌هایی که حوزه را تخلیه می‌کنند حمل می‌شود. چه عاملی در این فرض نادرست فراموش شده است. آیا فکر می‌کنید که USLE باید تغییر نام یابد؟

۶- چرا مقدار کل بارندگی سالانه‌ی یک منطقه راهنمای خیلی خوبی برای براورد میزان فرسایش در یک خاک به‌خصوص فاقد پوشش نمی‌باشد؟

۷- چه تعارضی در خصوصیات یک خاک با فرسایش‌پذیری زیاد و یا فرسایش‌پذیری کم انتظار دارید؟

۸- چه مقدار خاک از سری لوم سیلتی Keene در اوهایوی مرکزی در یک شیب ۱۲٪ با طول ۱۰۰ متر، درصورتی‌که زمین تحت پوشش مرتع متراکم دائمی بوده و عملیات حفاظت اراضی انجام نگردد، احتمالاً فرسایش می‌یابد؟ از اطلاعات موجود در این فصل برای محاسبه استفاده کنید.

۹- کدام‌یک از عملیات خاک‌ورزی حفاظتی بیشترین مقدار پوشش خاک را به‌وسیله‌ی پس‌مانده‌های گیاهی باقی می‌گذارد؟ مزایا و مضار این نظام چیستند؟

۱۰-چرا نوارهای باریک گیاهان چمنی کاشته‌شده برروی خطوط تراز بعضی مواقع سکوهای زنده نامیده می‌شوند؟

۱۱- در اکثر جنگل‌ها کدامیک از اجزای بوم‌سامان؛ تاج‌پوشش، ریشه درختان، و یا لاشبرگ اساسی‌ترین حمایت را در مقابل فرسایش آبی اعمال می‌کنند؟

۱۲- ویژگی‌هایی از خاک که آن‌را معمولاً حساس به فرسایش بادی و یا فرسایش آبی می‌کنند، کدامند؟ ۴ خصوصیت که خاک را به فرسایش بادی حساس می‌سازند، نام ببرید. مشخص کنید که کدام دو خصوصیت از این ۴ خصوصیت خاک را به فرسایش آبی نیز حساس و کدام دو خصوصیت دیگر حساس نمی‌سازد؟

۱۳- کدام سه عامل موجود در معادله برآورد فرسایش بادی (WEQ) تحت تأثیر خاک‌ورزی قرار می‌گیرند؟ توضیح دهید.

۱۴- یک خاک در کلاس قابلیت II w را با یک خاک در کلاس قابلیت IV e مقایسه کنید.

۱۵- چرا ارتباط نزدیک بین اراضی در طرح CRP و اراضی مشهور به HEP در حفاظت خاک مهم می‌باشد؟

این مزبله سیاه است و بدفرجام
تدبیری مگر درست شود انجام
«ویلیام شکسپیردر رومئو و ژولیت»

فصل ۱۸

خاک‌ها و آلودگی شیمیایی

خاک، خواسته یا ناخواسته، دریافت‌کننده‌ی اصلی هزاران نوع ضایعات و مواد شیمیایی مورد مصرف در جامعه امروزی می‌باشد. همیشه راحت‌تر این بوده است که «چیزها دور ریخته شوند،» و خاک دریافت‌کننده اکثر این چیزها بوده است. هرسال میلیون‌ها تن از این فراورده‌ها از منابع مختلف، صنعتی، خانگی و کشاورزی راه خود را در داخل خاک‌های سرتاسر جهان پیدا می‌کنند. به محض ورود در خاک این مواد به بخشی از چرخه زیستی که در تمام اشکال حیات مؤثر است، تبدیل می‌شوند. یکی از چالش‌هایی که فراروی بشریت است درک بهتر چگونگی تأثیر ضایعات در این چرخه، و سپس بهبود حیات گیاهی و جانوری می‌باشد.

در فصول قبل ظرفیت عظیم خاک‌ها را در قبول مواد شیمیایی آلی و معدنی روشن نمودیم. تنها از بقایای آلی و کودهای دامی به‌وسیله‌ی میکروب‌های خاک هرسال تجزیه شده (فصل۱۲)، و مقادیر بزرگی از مواد شیمیایی معدنی در پیوند و یا تثبیت پایدار با کانی‌های خاک قرار می‌گیرند (فصل۱٤). ما همچنین از محدودیت‌های ظرفیت خاک‌ها برای قبول این مواد شیمیایی باخبر شده، و اثرات مصیبت بار آن‌ها را بر کیفیت زیست‌محیط با گذر از مرزهای این محدودیت، مشاهده کرده‌ایم.

ما دیده‌ایم که چگونه فرایندهای خاک در قبول و یا آزادسازی ضایعات تأثیر می‌گذارند. برای نمونه تولید و تمرکز گازهای گلخانه‌ای مانند اکسید نیترو، متان و اکسیدکربن (بخش‌های ۱۱-۱۲و ۱۹-۱۳ را مشاهده کنید)، سخت تحت تأثیر فرایندهای خاک می‌باشند. سایر گازهای حاوی گوگرد و نیتروژن از منابع خانگی و صنعتی و همچنین از خاک‌ها حاصل می‌شوند که سبب اسیدی‌شدن نیوار، و ریزش باران‌های اسیدی می‌باشند (فصل ٦-۹ را مشاهده کنید). مدیریت بی‌رویه طرح‌های آبیاری سبب تجمع نمک‌ها، به‌خصوص در خاک‌های مناطق خشک می‌شود (بخش ۳-۱۰را مشاهده کنید).

ما همچنین مشاهده کرده‌ایم که استعمال کودهای شیمیایی و کود دامی، که مقادیر زیادی عناصر غذایی در خاک باقی می‌گذارند، می‌توانند به آلودگی اراضی و آب‌های سطحی براثر نیترات‌ها (بخش ۸-۱۳) و فسفات‌ها (بخش۲-۱٤) بیانجامد. غنی‌شدن استخرها، دریاچه‌ها و یا حتی رودهای آرام کم‌سرعت شاهد این تجمع عناصر غذایی است. پرواربندی‌ها و مرغداری‌ها «کاخانه‌ها» عظیم تولید گوشت دام و طیور، کوه‌ها کود دامی تولید می‌کنند که برای جلوگیری از تمرکز ناخواسته مواد شیمیایی در زیست‌محیط، و گسترش عوامل بیماری‌زا، که برای بشریت و سایر حیوان‌ها مضرند باید دفع گردند(بخش۵-١٦).

در این فصل توجه خود را به مواد شیمیایی که سبب آلودگی و تخریب خاک‌ها، و همچنین بعضی مواد دیگر که خسارت آن‌ها به آب، هوا و مواد زنده گسترش می‌یابد، معطوف می‌داریم و یک مرور مختصر بر آلودگی خاک، به‌عنوان مقدمه‌ای بر سرشت آلاینده‌های عمده، واکنش آن‌ها در خاک، و گزینه‌هایی برای مدیریت، نابودی و یا غیرفعال‌کردن آن‌ها به‌عمل آمده است.

۱۸-۱ مواد شیمیایی آلی سمی

جوامع صنعتی نوین هزاران ترکیب آلی مصنوعی برای هزاران استفاده تولید کرده‌اند. مقدار عظیمی از مواد شیمیایی آلی سالانه تولید می‌شود، که فقط حدود ٦۰ میلیون تن آن تنها در آمریکاست. این مواد شامل پلاستیک‌ها، مواد مورد مصرف پلاستیک، مواد لیزکننده[1]، روغن‌های ماشین‌آلات[2]، سوخت‌ها، حلال‌ها، آفت‌کش‌ها و مواد نگاهدارنده[3] می‌باشند. بعضی از این مواد برای انسان و سایر شکل‌های دیگر حیات سمی هستند. ازطریق نشت تصادفی و یا سرریز کردن، و یا ازطریق افشاندن و سایر تیمارها، مواد شیمیایی آلی مصنوعی در واقع می‌توانند در هر گوشه‌ای از محیط‌زیست ما، در خاک در آب زیرزمینی، در نباتات و در بدن خود ما پیدا شوند.

---

[1] - Lubricants
[2] - Refrigerants
[3] - Preservatives

زیان‌های زیست‌محیطی حاصل از مواد شیمیایی آلی

بعضی از این ترکیبات آلی بدون اثر و بی‌خطر، اما بقیه حتی در مقادیر اندک از نظر زیستی خسارت‌بار می‌باشند. آن‌هایی که راه خود را در خاک پیدا می‌کنند، ممکن‌است سبب توقف رشد و یا مرگ موجودات خاک گردند، بنابراین، سبب به‌هم‌زدن تعادل مجموعه‌ی جانداران خاک می‌شوند (بخش ۱۵-۱۱را مشاهده کنید) سایر مواد شیمیایی ممکن‌است از خاک به هوا، آب، و یا پوشش گیاهی انتقال یابند که در آن‌جا به‌وسیله‌ی تعدادی از جانداران مورد تماس، تنفس و یا هضم قرار گیرند. بنابراین، مدیریت آزادشدن مواد شیمیایی آلی و شناخت سرنوشت آن‌ها به‌محض ورود به خاک الزامی است.

ممکن‌است مواد آلی شیمیایی به‌صورت آلاینده‌ها در ضایعات صنعتی و شهری که در خاک مصرف شده و یا بر روی خاک ریخته می‌شوند، به‌عنوان اجزای ماشین‌آلات دورریخته، در نشت‌های بزرگ و کوچک سوخت‌ها و گریس‌ها و آفت‌کش‌های مصرف شده در بوم‌سامان‌های زمینی وارد خاک گردند.

وقتی در نظر است آفت‌کشی مصرف گردد، اکثر آن داخل خاک می‌شود. زیرا حشره و یا برگی را که هدف استعمال آن بوده است مورد اصابت قرار نداده است. وقتی آفت‌کشی در مزرعه مصرف می‌شود، اکثر مواد شیمیایی موجود مورد نظر را ازدست می‌دهد. برای آفت‌کش‌هایی که به‌صورت هوایی در جنگل‌ها مصرف می‌شوند، حدود ۲۵ درصد به پوشش برگی رسیده، و بسیار کمتر از ۱ درصد به حشره مورد هدف می‌رسد. ممکن‌است حدود۳۰ درصد به خاک برسد درحالی‌که حدود نصف مواد شیمیایی مصرف شده احتمالاً در نیوار و یا رواناب ازدست می‌رود.

آفت‌کش‌ها احتمالاً گسترده‌ترین آلاینده‌های شیمیایی همراه با خاک می‌باشند. در آمریکا، آفت‌کش‌ها در۱۵۰ میلیون هکتار از اراضی، که ۳/۴ آن‌ها اراضی کشاورزی است، مصرف می‌شوند آلایش خاک به‌وسیله‌ی سایر مواد شیمیایی آلی بسیار موضعی است، بنابراین، ما مسأله آفت‌کش‌ها را مورد تأکید قرار می‌دهیم.

سرشت آفت‌کش‌ها

آفت‌کش‌ها مواد شیمیایی مورد نظر برای نابودی آفت‌ها (هر جانداری که به‌نظر مصرف‌کننده‌ی آفت‌کش، زیان‌بار است) می‌باشد. از آن‌جاکه ممکن‌است موجود مورد تجاوز نبات (علف هرز)، حشره، قارچ، نماتد و یا موش صحرایی باشد، آفت‌کش‌ها دارای ترکیبات مختلفی تحت عنوان علف‌کش[1]، حشره‌کش[2]، قارچ‌کش[3]، نماتدکش[4]، جونده‌کش[5] و غیره می‌باشند.

حدود۶۰۰ نوع ماده شیمیایی در ۵۰۰۰۰ نوع ترکیب شیمیایی برای مبارزه با آفت‌ها مورد استفاده قرار گرفته، و به‌طور وسیعی در تمام بخش‌های جهان مصرف شده‌اند. حدود ۳۵۰۰۰۰ تن از آفت‌کش‌های شیمیایی سالانه در آمریکا مصرف شده، و مقادیر مشابهی نیز در اروپای غربی و آسیا مصرف می‌گردد. هرچند مقدار کل آفت‌کش‌های مورد استفاده از دهه‌ی ۸۰ ثابت باقی مانده و یا کاهش یافته است. ترکیباتی که امروزه معمولاً مصرف می‌شوند، قوی‌تر بوده، و بنابراین، مقادیر کمتری درهکتار برای ایجاد سمیت در آفت مصرف می‌شود.

منافع آفت‌کش‌ها : آفت‌کش‌ها منافع زیادی را برای جامعه به‌بار می‌آورند آن‌ها به مهار پشه‌ها و سایر ناقلین بیماری‌های انسانی مانند تب‌زرد و مالاریا کمک کرده‌اند. آن‌ها نباتات و احشام را درمقابل حشرات و امراض محافظت نموده‌اند. بدون مبارزه با علف‌های هرز به‌وسیله‌ی مواد شیمیایی که علف‌کش نامیده می‌شوند، سازگارنمودن خاک‌ورزی حفاظتی (به‌خصوص نظام بدون خاک‌ورزی) بسیار مشکل خواهد بود. بسیاری از پیشرفت‌های به‌دست‌آمده در حفاظت خاک احتمالاً بدون استفاده از علف‌کش به‌دست نمی‌آمد. به‌علاوه آفت‌کش‌ها سبب کاهش خرابی غذا از هنگام برداشت محصول مزرعه تا رسیدن آن به پای سفره از فواصل دور می‌گردند.

هزینه آفت‌کش‌ها : آفت‌کش‌ها نباید به‌عنوان اکسیر و یا ماده‌ای اجتناب‌ناپذیر تلقی گردند. بعضی از زارعین عملکردهای سودآوری بدون استفاده از آفت‌کش‌ها کسب می‌کنند. حتی به‌رغم استفاده تقریباً جهانی از آفت‌کش‌ها حشرات، امراض و گیاهان هرز هنوز سبب هدررفت ۱/۳ محصولات زراعی در آمریکا می‌باشند، و این معادل همان نسبت هدررفت محصولات به‌وسیله‌ی آفات در دهه‌ی ۱۹٤۰ قبل از ترویج بسیاری از آفت‌کش‌هاست. درعین‌حال که منافع حاصل از آفت‌کش‌ها برای جامعه زیاد است، هزینه آن‌ها نیز بالا می‌باشد (جدول۱-۱۸).

---
[1] -Herbicides
[2] -Insecticides
[3] -Fungicides
[4] -Nematocides
[5] -Rodenticides

جدول۱-۱۸ جمع کل هزینه‌های زیست‌محیطی و اجتماعی استفاده از علف‌کش‌ها در ایالات متحده آمریکا: مرگ حدود ۶۰میلیون قطعه پرنده بیانگر هزینه‌ی اساسی اضافی ناشی از عواید حاصل از شکارچی‌ها، تماشاکنندگان پرنده و غیره می‌باشد.

نوع اثرات زیست‌محیطی	هزینه بر حسب میلیون دلار درسال
اثرات بر بهداشت عمومی	۷۸۶
مرگ حیوانات اهلی و آلایش	۳۰
ازبین رفتن دشمنان طبیعی	۵۲۰
هزینه مقاومت در مقابل آفت‌کش	۱۴۰۰
از بین رفتن زنبورعسل و گرده‌افشانی	۳۲۰
هدررفت محصول	۹۴۲
هدررفت آبزیان	۲۴
آلایش آب زیرزمینی و هزینه‌های رفع آلودگی	۱۸۰۰
هزینه‌های مقررات دولتی برای جلوگیری از خسارت	۲۰۰
جمع	۶۰۲۳

بسیاری از این مواد که برای ازبین‌بردن موجودات زنده طراحی شده‌اند دارای توان نابودی سایر موجودات به‌غیر از آفت موردنظر می‌باشند. بعضی از آن‌ها برای موجودات غیرموردنظر مانند حشرات مفید و بعضی از موجودات خاک مهلکند. ممکن‌است مواد شیمیایی که سریع تجزیه نمی‌شوند از نظر زیستی با بالارفتن از زنجیره‌ی غذایی تجمع یابند. برای نمونه، کرم‌های خاکی خاک‌های آلوده را بلعیده و مواد شیمیایی در بدن کرم خاکی متمرکز می‌گردند. وقتی پرندگان و ماهی‌ها کرم‌های خاکی را می‌خورند، آفت‌کش می‌تواند در حد مهلک بودن تمرکز یابد. ازبین‌رفتن نسل پرندگان شکارچی (از جمله عقاب طاس) در طول دهه‌های ۱۹۶۰و۱۹۷۰سبب هشداردادن به عامه برای پیامدهای مخرب زیست‌محیطی مصرف آفت‌کش در بعضی موارد گردید. به‌تازگی شواهد و دلایل حاکی از این است که هورمن اندوکرین در انسان ممکن‌است در اثر مقادیر کوچکی از آفت‌کش‌ها که در آب، هوا و غذا یافت می‌شوند، از تعادل خارج شود.

۲-۱۸ انواع آفت‌کش‌ها

آفت‌کش‌ها معمولاً برحسب گروه‌های آفت موردنظر به : (۱) حشره‌کش‌ها، (۲) قارچ‌کش‌ها، (۳) علف‌کش‌ها، (٤) جونده‌کش‌ها، و (۵) نماتدکش‌ها تقسیم می‌شوند. درعمل، همگی راه خود را در داخل خاک باز خواهند یافت. از آن‌جاکه ۳ نوع اول به مقدار زیادی مصرف می‌شوند، احتمال آلودگی خاک‌ها به‌وسیله‌ی آن‌ها بنابراین، زیاد است، آن‌ها اول مورد ملاحظه قرار خواهند گرفت. شکل۱-۱۸ نشان می‌دهد که اکثر آفت‌کش‌ها دارای نوعی ترکیبات حلقوی معطر بوده اما از نظر ساختار شیمیایی بسیار متفاوت می‌باشند.

حشره‌کش‌ها

اکثر این مواد شیمیایی در سه گروه کلی قرار می‌گیرند. هیدروکربن‌های[1] کلردار مانند DDT، که تا اوایل دهه ۱۹۷۰در بیشترین مقدار مورد استفاده بودند، از آن تاریخ به بعد مصرف آن‌ها به‌خاطر تجزیه‌پذیری زیستی اندک و پایداری، و همچنین سمیت آن‌ها برای پرندگان و ماهی‌ها در بسیاری از کشورها ممنوع و یا بسیار محدود گردید.

آفت‌کش‌های فسفاته[2] آلی معمولاً دارای قابلیت تجزیه‌ی زیستی بوده، و بنابراین، تجمع آن‌ها در خاک و آب کمتر محتمل است. هرچند، آن‌ها برای انسان‌ها شدیداً سمی می‌باشند، بنابراین، بایستی دقت بسیار زیادی در استفاده و کاربرد آن‌ها به‌عمل آید. کرباماتها[3] به‌خاطر قابلیت تجزیه‌ی زیستی آسان خود دارای کمترین خطر به‌خصوص برای پستانداران می‌باشند. هرچند برای زنبورها و سایر حشرات مفید و برای کرم‌های خاکی بسیار مضر می‌باشند.

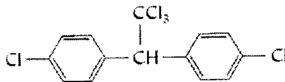
---

[1] -Chlorinated hydrocarbons
[2] -Organophosphate
[3] -Carbamates

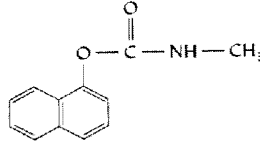
قارچ‌کش‌ها

قارچ‌کش‌ها معمولاً برای مبارزه با امراض میوه‌ها و سبزی‌ها و به‌صورت پوشش بذر برای جلوگیری از پوسیدن بذور مورد استفاده می‌باشند. بعضی دیگر نیز همچنین برای محافظت میوه‌ها و سبزی‌های برداشت‌شده در برابر فساد، جلوگیری از پوسیدگی چوب و حفظ لباس‌ها از کفک‌زدن مورد استفاده قرار می‌گیرند. مواد آلی مانند تیوکاربامات‌ها و تریازول درحال‌حاضر مورد استفاده‌اند.

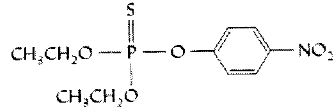
Insecticides



(DDT)
Chlorinated hydrocarbons

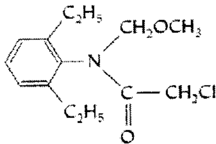


(Carbaryl)
Carbamates

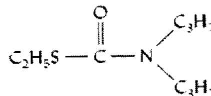


(Parathion)
Organophosphates

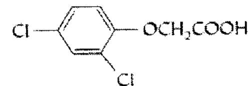
Herbicides



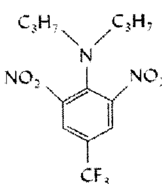
(Alachlor)
Acetanilides



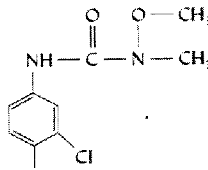
(EPTC)
Carbamothioates



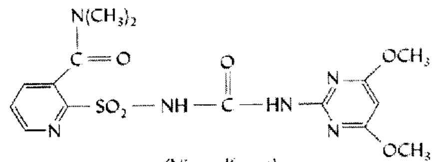
(2,4–D)
Phenoxyalkanoic acids



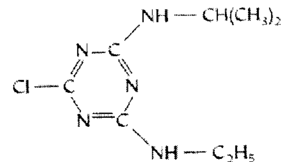
(Trifluralin)
Dinitroanilines



(Linuron)
Substituted ureas



(Nicosulfuron)
Sulfonylureas



(Atrazine)
Triazines

شکل ۱-۱۸ فرمول ساختاری ترکیبات شاخص در ۱۰ کلاس آفت‌کش دارای مصرف گسترده. کارباریل، ددت و پاراتیون حشره‌کش بوده، سایر ترکیبات نشان داده شده علف‌کش می‌باشند. ساختارهای بسیار متفاوت سبب خصوصیات بسیار متنوع سم‌شناسی و واکنش در خاک می‌شوند.

علف‌کش‌ها

مقدار علف‌کش‌های موردمصرف در آمریکا از مجموع دو نوع آفت‌کش دیگر بیشتر است از به‌دو استفاده از 2,4–D. (فنکسی الکانویک اسید، کلردار[1])، ده‌ها موادشیمیایی دیگر تحت صدها فرمول به‌بازار آمده‌اند (شکل ۱-۱۸ را مشاهده‌کنید). این مواد شامل تریازین که عمدتاً برای مهار علف هرز ذرت مصرف می‌شود، اوره‌آز جایگزین‌شده (لینرون[2])، بعضی کرباماتوتیوات، ترکیب نسبتاً‌جدید سولفونی اوره‌آز[3] که در مقادیر خیلی‌کم نیز مؤثر می‌باشند، دی‌نیتروانیلین[4]، و استانیلید[5] است که ثابت شده‌است در محیط کاملاً متحرک می‌باشند. باید قبول کرد که

1 -Chlorinated Phenoxyalkanoic acid
2 -(Linuron) Substituted Ureas
3 -Sulfonylureas
4 -Dinitroaniline
5 -Acetanilids

این تغییرات گسترده در ترکیب شیمیایی سبب تغییرات گسترده‌ی مشابهی در خصوصیات آن‌ها می‌شود. بیشتر علف‌کش‌ها قابل‌تجزیه‌ی زیستی بوده و اکثر آن‌ها دارای سمیت نسبتاً پایین برای پستانداران می‌باشند. هرچند، بعضی برای ماهی‌ها و احتمالاً سایر وحوش نیز کاملاً سمی هستند. آن‌ها همچنین می‌توانند اثرات مخربی بر گیاهان آبزی مفید، که غذا و زیستگاه برای ماهیان و صدف‌ها فراهم می‌کنند، داشته باشند.

نماتدکش‌ها

هرچند نماتدکش‌ها به‌طور گسترده مورد استفاده قرار نمی‌گیرند، بعضی از آن‌ها به‌خاطر ایجاد آلایش در خاک و زهاب حاصل از این خاک‌ها مشهور می‌باشند برای نمونه بعضی از کارباماتهای مورد استفاده به‌عنوان نماتدکش در آب کاملاً محلول بوده و جذب خاک نمی‌شوند و بنابراین، درمعرض آبشویی، فرونشست و واردشدن به آب‌های زیرزمینی قرار می‌گیرند.

۳-۱۸ رفتار مواد شیمیایی آلی در خاک

به محض رسیدن مواد شیمیایی آلی مانند آفت‌کش‌ها و یا هیدروکربن‌ها به خاک، ممکن است در یک و یا چند مسیر ازهفت مسیر زیر قرار می‌گیرند (شکل ۲-۱۸): (۱)بدون تغییر شیمیایی به‌داخل نیوار تبخیر گردند، (۲)به‌وسیله‌ی خاک‌ها جذب شوند، (۳)به‌طرف پایین در داخل خاک به‌صورت مایع و یا در شکل محلول حرکت نموده و از طریق آبشویی از دسترس خارج شوند، (٤)در داخل و یا سطح خاک وارد واکنش‌های شیمیایی شوند، (۵)به‌وسیله‌ی ریزجانداران خاک مورد تجزیه قرار گیرند، (٦)به‌داخل رودها و یا نهرها به‌وسیله‌ی رواناب وارد گردند، و (۷)به‌وسیله‌ی گیاهان و یا جانوران خاک جذب شده و به قسمت‌های بالایی زنجیره‌ی غذایی حرکت کنند. سرنوشت خاص این مواد شیمیایی حداقل تا حدی به‌وسیله‌ی ساختمان شیمیایی آن‌ها که بسیار متغیر است تعیین می‌گردد.

بخارشدن[1]

مواد شیمیایی در رابطه با بخارشدن و درنتیجه حساسیت به هدررفت در نیوار بسیار متفاوتند. بعضی از مواد ضدعفونی‌کننده تدخینی[2] مانند متیل‌برومید[3] (اکنون برای استفاده ممنوع گردیده) به‌خاطر فشار بخار بسیار بالا که امکان نفوذ و انتشار آن‌ها را در داخل منافذ خاک برای تماس با ریزجانداران فراهم می‌کند، انتخاب می‌گردند. این خاصیت، هدررفت سریع آن‌ها را در نیوار پس از مصرف آن‌ها درخاک تقویت می‌کند مگرآن‌که خاک پوشش‌یافته و یا عایق‌اندود گردد. تعداد اندکی از علف‌کش‌ها (مانند تریفلورالین[4] و قارچ‌کش‌ها (مانند PCNB) چنان فرارند که بخارشدن فرایند اصلی هدررفت آن‌ها در خاک است. بخش بیشتر نفت خام (گازوییل و بنزین، و بسیاری از حلال‌ها وقتی برروی خاک ریخته می‌شوند، به مقدار زیادی تبخیر می‌شوند.

این فرضیات که عدم مشاهده‌ی آفت‌کش‌ها در خاک دلیل بر تجزیه آن‌ها می‌باشد سووال‌برانگیز است. اکنون مشخص شده است که بعضی از مواد شیمیایی از طریق بخارشدن به نیوار انتقال یافته و ازطریق بارندگی به خاک و آب‌های سطحی باز می‌گردند.

جذب سطحی

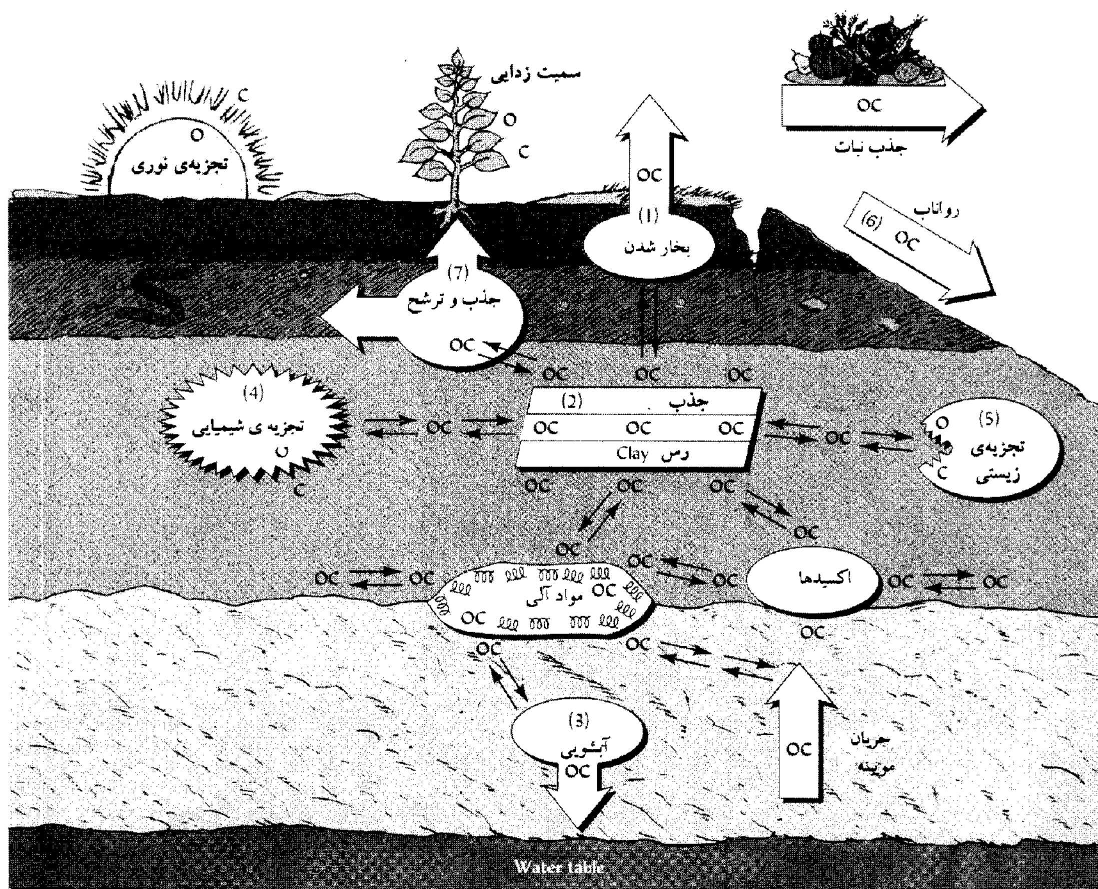
جذب مواد شیمیایی به‌وسیله‌ی خاک عمدتاً در ارتباط با خصوصیات آفت‌کش‌ها و خاکی که به آن افزوده شوند، می‌باشد. مواد آلی خاک و رس‌های دارای سطح مخصوص زیاد تمایل دارند که قوی‌ترین جذب‌کننده‌ی بعضی از ترکیبات باشند (شکل ۳-۱۸)، درحالی‌که پوشش اکسیدی بر روی ذرات خاک سبب جذب شدید سایر ترکیبات می‌شود. حضور گروه‌های عامل به‌خصوص، مانند، $-COOR$ ، $-CONH_2$ ، $-NHR$ ، $-NH_2$ ، $-OH$ و $-NR_3$ در ساختمان شیمیایی آفت‌کش‌ها جذب آن‌ها را به‌ویژه در روی هموس خاک تسریع می‌کند. پیوند هیدروژن (بخش ۱-۵ و ۵-۸ را مشاهده کنید) و اضافه‌شدن پروتون [اضافه‌کردن H^+ به گروه عامل مانند$(-NH_2)$] احتمالاً سبب ارتقای جذب سطحی می‌شود. در شرایط یکسان، هرچه مولکول آلی بزرگ‌تر و مقدار محل‌های بار بیشتر باشد جذب سطحی شدیدتر است.

بعضی مواد آلی با گروه‌های مثبت بار مانند علف‌کش‌های دی‌کوات[5] و پاراکوات[6] به‌وسیله‌ی کانی‌های رسی سیلیکاتی شدیدتر جذب می‌شوند، جذب بعضی از علف‌کش‌ها به‌وسیله‌ی رس احتمالاً وابسته به pH می‌باشد (شکل ٤-۱۸)، حداکثر جذب در pH پایین است که

---

[1] -Volality
[2] -Fumigants
[3] -Methyl bromide
[4] -Tryfluralin
[5] -Diquat
[6] -Paraquat

پروتونی‌شدن را تقویت می‌کند. اضافه‌کردن H^+ به گروه‌های عامل (برای مثال $-NH_2$) سبب ایجاد بار مثبت بر روی علف‌کش گشته و سبب جذب هرچه بیشتر آن‌ها برروی کلوییدهای خاک با بارهای منفی می‌شود.



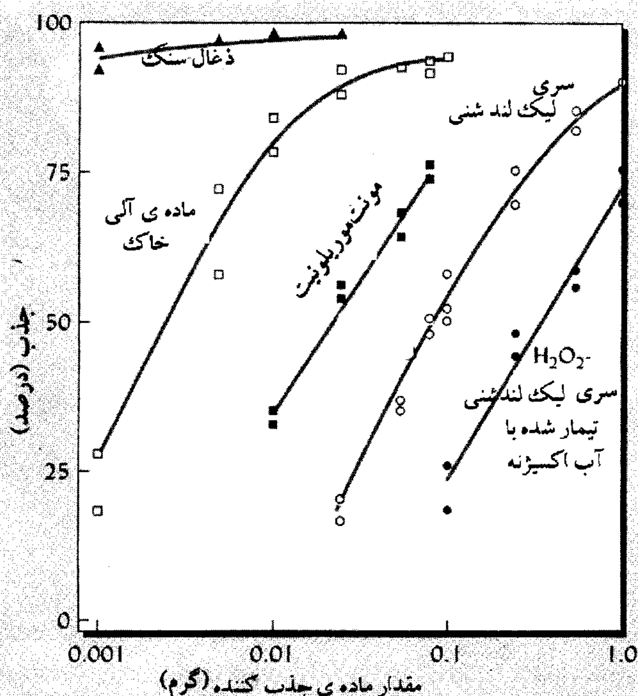
شکل۲-۱۸ فرایندهای مؤثر در ازبین‌رفتن مواد آلی شیمیایی (OC) در خاک‌ها. توجه کنید که علامت OC براثر تجزیه (به‌وسیله‌ی نور و واکنش شیمیایی) و تخریب به‌وسیله‌ی ریزجانداران تفکیک می‌گردد، و این بدان معنی است که این فرایندها سبب تغییر و نابودی ماده‌ی آلی شیمیایی می‌شوند. در فرایند انتقال OC دست‌نخورده باقی می‌ماند.

آبشویی و رواناب

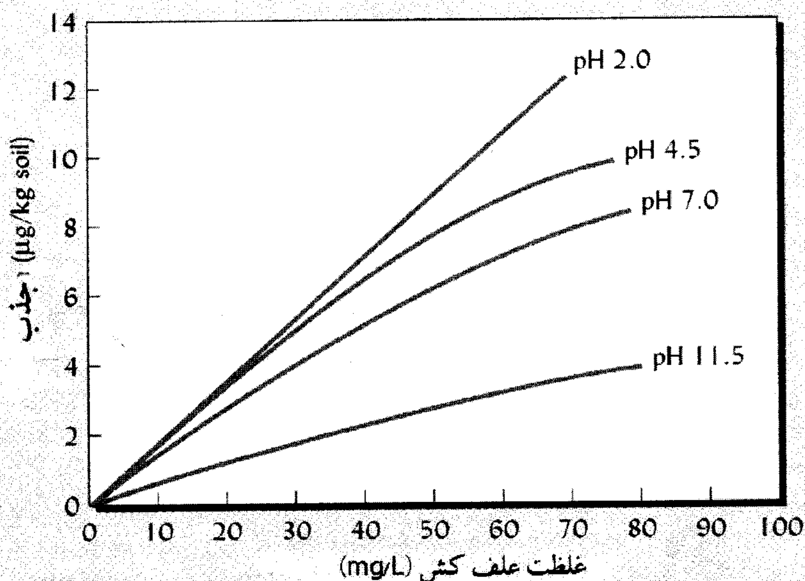
تمایل مواد شیمیایی آلی برای آبشویی از خاک‌ها در ارتباط نزدیک با قابلیت انحلال آن‌ها در آب و توان آن‌ها برای جذب است. بعضی ترکیبات مانند کلروفورم و فنوکسی‌استیک اسید[1] یک میلیون بار از دیگر ترکیبات مانند DDT و PCB (که در روغن کاملاً محلولند) در آب محلول‌ترند. محلولیت بیشتر در آب با هدررفت هم‌خوانی دارد.

احتمال حرکت مولکول‌هایی که شدیداً جذب خاک شده‌اند، از خاکرخ به پایین بسیار ضعیف است (جدول۲-۱۸). به‌همین ترتیب، شرایطی که سبب تقویت این جذب می‌شود، باعث حذف آبشویی می‌گردد. آبشویی شدید با میزان حرکت آب هماهنگ است، بزرگ‌ترین خطر آبشویی در خاک‌های شنی، که دارای بالاترین نفوذپذیری کمترین و مقدار ماده‌ی آلی می‌باشند، صورت می‌گیرد. دوره‌های دارای بارندگی شدید هماهنگ با زمان مصرف مواد شیمیایی سبب بالارفتن هدررفت ناشی از آبشویی و رواناب می‌شود (جدول۳-۱۸). به‌جز چند استثناء قابل‌توجه، به‌نظر می‌رسد که علف‌کش‌ها از اکثر قارچ‌کش‌ها و یا حشره‌کش‌ها، تحرک بیشتری داشته باشند، و بنابراین، با احتمال بیشتر راه خود را در منابع تأمین آب و رودها باز خواهند یافت (شکل۵-۱۸).

[1] -Phenoxyacetic acid



شکل ۳-۱۸ جذب بی‌فنیل پلی‌کلره، (PCB[1]) به‌وسیله‌ی مواد مختلف خاکی. سری لیکلند شنی (تیپک کوارتزی پسامنت[2]) اکثر ظرفیت جذب خود را هنگام مصرف هیدروژن پراکسید (H_2O_2) برای حذف ماده‌ی‌آلی آن ازدست می‌دهد. مقدار مواد خاکی مورد نیاز برای جذب ۵۰درصدPCB در مورد رس مونت‌موریلونیت (کانی رسی ۲:۱) ۱۰ برابر میزان ماده‌ی آلی خاک بود، و در سری لیک‌لند شنی عمل آمده با آب‌اکسیژنه (H_2O_2) ۱۰ برابر مونت‌موریلونیت بود. آزمایش‌های بعدی نشان دادند که وقتی PCBجذب گردید، دیگر برای جذب به‌وسیله‌ی نبات قابل‌استفاده نبود. توجه داشته باشید که مقدار مواد خاکی اضافه‌شده در مقیاس لگاریتمی می‌باشد.



شکل ٤-۱۸ اثر pH کائولینیت بر روی جذب گلی‌فسفات[3]، یک علف‌کش بسیار پرمصرف با نام تجارتی راندآپ[4]

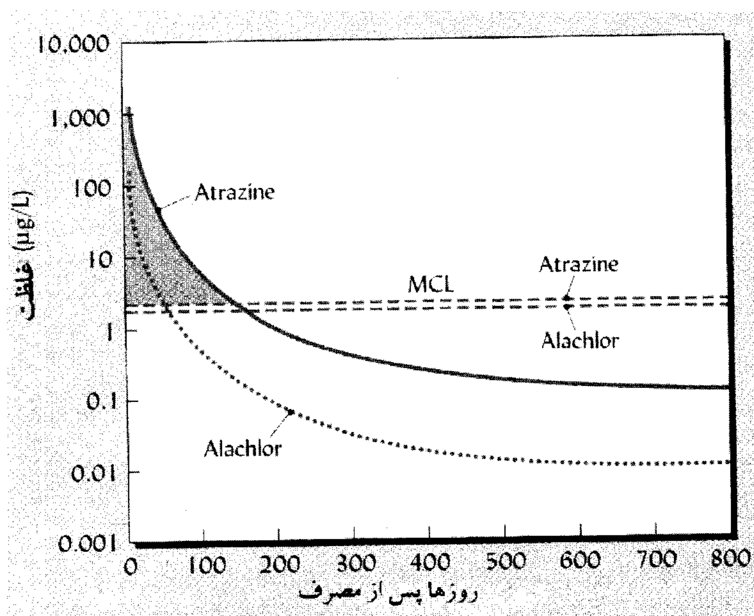
[1] -Polychlorinated biphenyl
[2] -Lakeland sand (Typic Quartzipsamments)
[3] -Glyphosphate
[4] -Roundup

جدول۲-۱۸ میزان جذب بعضی علف‌کش‌ها. علف‌کش‌ها با جذب ضعیف به حرکت در خاک بسیار حساس تر از انواع شدیداً جذب شده می‌باشند.

نام معمول و یا فرمول	نام تجارتی	قدرت جذب به‌وسیله‌ی کلوییدهای خاک	نام معمول و یا فرمول	نام تجارتی	قدرت جذب به‌وسیله‌ی کلوییدهای خاک
دلاپون (Dalapon)	Dowpon	ندارد	اترازین Atrazine	A Atrex	قوی
کلرامبن Chloramben	Amiben	ضعیف	آلاکلر Alachlor	Lasso	قوی
بنتازون Bentazon	Bsagran	ضعیف	ای‌پی‌تی‌سی EPTC	Eptam	قوی
تو فور دی 2و4-D	متعدد	متوسط	دیورون Diuron	Karmex	قوی
پروپاکلر Propachlor	Ramrod	متوسط	پاراکوات Paraquat	Paraquat	خیلی قوی
			تریلفلورالین Trifluralin	Treflan	خیلی قوی
			دی‌سی‌پی‌آ DCPA	Dacthal	خیلی قوی

جدول۳-۱۸ هدررفت رواناب سطحی و آبشویی (از داخل لوله‌های زه‌کشی) علف‌کش اترازین از خاک لوم رسی دریاچه‌ای (الفی‌سول[1])در ایالت انتاریو کانادا. علف‌کش به‌مقدار ۱۷۰۰ گرم در هکتار در آخر ماه می‌مصرف گردید. داده‌ها معدل سه روش خاک‌ورزی است. توجه کنید که بارندگی برای ماه می و ژوئن با مقدار علف‌کش ازبین رفته درهر دومسیر ارتباط دارد.

سال مطالعه	هدررفت اترازین، گرم در هکتار: رواناب	زهاب	مجموع محلول	درصدکل مصرف شده	بارندگی می- ژوئن میلی‌متر
۱	۱۸	۹	۲۷	۱/۶	۱۷۰
۲	۱	۲	۳	۰/۲	۳۰
۳	۵۱	۶۱	۱۱۳	۶/۶	۲۵۵
۴	۱۳	۳۲	۴۵	۲/۶	۱۶۵



شکل ۵-۱۸ غلظت دو علف‌کش بسیار پرمصرف اترازین و آلاکلر در رواناب حاصل از حوزه‌های آبخیز در ایالت اوهایو که تحت کشت ذرت می‌باشد، همراه با حداکثر آلایش مجاز (MCL[2]) برای آب آشامیدنی توجه کنید که غلظت بسیار فراتر از MCL به‌خصوص در مورد اترازین در ۵۰ تا ۱۰۰ روز بعد از مصرف می‌باشد. اگر این رواناب با آب دارای آلایش کمتر رقیق نشود برای مصارف خانگی پایین‌دست مناسب نخواهد بود.

[1] -Lacustrine clayloam (Alfisols)
[2] -Maximum Contamination Level

آلایش آب زیرزمینی

متخصصین زمانی بیان می‌داشتند که آلایش آب زیرزمینی فقط درصورت حوادثی مانند سرریز و نشت آفت‌کش‌ها صورت می‌پذیرد اما حال مشخص شده است که بسیاری از آفت‌کش‌های مورد مصرف عادی در کشاورزی به آب زیرزمینی می‌رسند. از آن‌جاکه بسیاری از مردم (۴۰ درصد آمریکایی‌ها) برای مصارف شرب وابسته به آب زیرزمینی هستند، آبشویی آفت‌کش‌ها بسیار مورد توجه است. جدول۴-۱۸ حدود ۴۶ آفت‌کش را که طی یک مطالعه‌ی ملی در آب چاه‌ها در آمریکا یافت شده‌اند، مشخص می‌سازد. غلظت‌ها برحسب قسمت در بیلیون است (تابلو۱-۱۸را مشاهده کنید). در بعضی موارد مقدار آفت‌کش موجود در آب آشامیدنی چنان بالاست که مسایل بهداشتی را در درازمدت مطرح می‌کند.

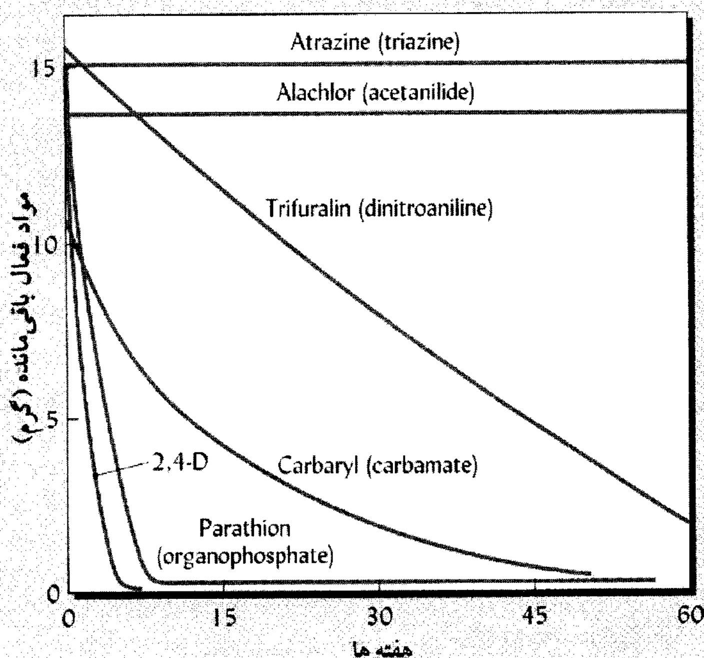
واکنش‌های شیمیایی

بعضی از آفت‌کش‌ها به محض تماس با خاک، مستقل از جانداران خاک دچار تغییرات شیمیایی می‌شوند. برای مثال ترکیبات سیانید آهن درصورت مواجهه با نور شدید آفتاب طی چندساعت و یا چندروز تجزیه می‌شوند. DDT، دی‌کوات و تریازین در نور آفتاب دارای تجزیه نوری کند می‌باشند. علف‌کش‌های تریازین (برای نمونه، اترازین) و حشره‌کش‌های ارگانوفسفات (مانند مالاتیون) درمعرض آبکافت قرار گرفته و سپس در خاک تخریب می‌شوند. ترکیب پیچیده‌ی ساختمان مولکولی آفت‌کش‌ها سازوکارهای متفاوتی را برای تجزیه مطرح می‌کند. مهم این است که دریابیم تجزیه‌ی آفت‌کش‌ها مستقل از ریزجانداران درواقع صورت می‌پذیرد.

سوخت وساز میکروبی

تجزیه‌ی زیست‌شیمیایی به‌وسیله‌ی ریزجانداران خاک تنها روش مهمی است که در آن آفت‌کش‌ها از خاک خارج می‌شوند. گروه‌های قطبی خاص مانندOH-، $COOH$- و NH_2- نقاطی را برای حمله‌ی ریزجانداران خاک فراهم می‌آورند.

DDT و سایر هیدروکربن‌های کلردار مانند آلدرین، دی‌آلدرین و هپتاکلر با آهستگی بسیار در اکثر خاک‌ها تجزیه شده و به‌مدت بیشتر از ۲۰ سال در خاک باقی می‌مانند. برعکس حشره‌کش‌های فسفوارگانیک مانند پاراتیون با سرعت زیادی به‌وسیله‌ی انواع ریزجانداران تجزیه می‌شوند (شکل۶-۱۸). به‌همین ترتیب علف‌کش‌های دارای مصرف زیاد مانند 4-D , 2، فنیل‌اوراز، اسیدهای چرب و کاربامات‌ها به‌وسیله‌ی ریزجانداران خاک به‌سرعت تجزیه می‌شوند. تریازین در این بین استثنا بوده، و عمدتاً با آهستگی به‌وسیله‌ی تجزیه‌ی شیمیایی تخریب می‌شوند. اکثر قارچ‌کش‌های آلی نیز درمعرض تجزیه‌ی میکروبی قرار می‌گیرند، گرچه میزان تجزیه در بعضی از آن‌ها کند بوده و پس‌مانده‌های آن‌ها مشکل‌ساز خواهند بود.



شکل۶-۱۸ تجزیه‌ی ۴ علف‌کش (آلاکلر، اترازین، trifuralin, 2,4-D) و دو حشره‌کش (پاراتیون و کارباریل)، که همه آن‌ها در نیمه غرب میانی آمریکا به‌طور گسترده مورداستفاده می‌باشند توجه کنید که اترازین و آلاکلر با کُندی بسیار تجزیه می‌شوند، درحالی‌که پاراتیون و 4-D , 2 به‌سرعت تجزیه می‌شوند.

تابلو۱-۱۸ غلظت و سمیت مواد آلاینده در محیط زیست

با کامل‌شدن تجهیزات آزمایشگاهی، مواد آلوده‌کننده می‌توانند در غلظت‌های بسیار کمتری از آن‌چه در سابق معمول بود مورد ردیابی و اندازه‌گیری قرار گیرند از آن‌جاکه انسان و سایر موجودات می‌توانند تقریباً به‌وسیله‌ی هرچیزی که در مقادیر زیاد وجود داشته باشند دچار صدماتی گردند، مسایل سمیت و آلودگی باید به‌طور کمی مورد توجه قرار گیرند. و پرسش ما باید چه مقدار در محیط‌زیست می‌باشد، نه کدام ماده در محیط‌زیست. بسیاری از ترکیبات خیلی سمی (که در مقادیر خیلی اندک خطرناکند) به‌وسیله‌ی فرایندهای طبیعی تولید گردیده و می‌توانند در هوا، خاک و آب کاملاً جدا از هر فعالیت انسانی اندازه‌گیری شوند.

تنها حضور یک سم طبیعی و یا یک آلاینده مصنوعی ممکن‌است مسأله‌ساز نباشد. سمیت در ارتباط با (۱) غلظت آلاینده، و (۲) میزان درمعرض قرارگرفتن جاندار است. بنابراین، غلظت پایین مواد شیمیایی خاص، که اثرات قابل‌مشاهده‌ای در یک‌بار مواجهه نداشته باشند (برای مثال یک لیوان آب‌خوری) ممکن‌است خسارات و صدماتی (سرطان و نارسایی‌های مادرزادی) را در افرادی‌که در معرض این غلظت‌ها در درازمدت قرار گیرند (مثلاً سه لیوان آب‌خوری در روز و برای سالیان متوالی) سبب گردد.

سازمان‌های تصمیم گیرنده تلاش می‌کنند تا اثرات طولانی‌مدت مواجهه‌شدن با مواد را وقتی معیارهایی برای مقادیر غیرقابل‌مشاهده (NOEL[1])و یا میزان مشورتی[2] ارائه می‌دهند پیش‌بینی کنند. بعضی از گونه‌ها و افراد داخل یک گونه درمقایسه با دیگران به ماده شیمیایی موردنظر بسیار حساس‌ترند. واضعین مقررات تلاش می‌کنند احتمال وجود خطر را برای حساس‌ترین فرد در هر مورد خاص مورد ملاحظه قرار دهند. برای نیترات در آب زیرزمینی این فرد ممکن‌است نوزاد انسان باشد که جیره غذایی او با آب آلوده تهیه می‌شود. برای DDT، فردی‌که درمعرض بیشترین خطر می‌باشد پرنده‌ای است که از ماهی تغذیه‌کننده‌ی کرم بلع‌کننده رسوبات آلوده به DDT استفاده می‌کند. درمورد آفت‌کش جذب‌شده به‌وسیله‌ی نبات فردی‌که درمعرض بیشترین خطر است یک باغبان حریص است که از میوه‌ها و سبزی‌ها یک باغ سم‌پاشی شده در طول حیات خود بهره می‌برد.

درک مقادیر خیلی کوچک برای بیان غلظت آلاینده‌ها در محیط زیست مهم است. برای مثال، در جدول۱۸-۴ غلظت‌ها برحسب قسمت در بیلیون داده شده است (PPb) و این معادل میکروگرم درکیلوگرم µg /kg است. در آب این مقدار برحسب µg/L می‌باشد. برای تجسم، یک بیلیون توپ گلف درنظر بگیرید که اگر به‌صورت رشته درآیند به‌طور کامل کره‌ی زمین را دور خواهند زد. یک توپ خراب در میان این یک بیلیون (1ppb) یک مقدار کوچک به‌نظر می‌رسد. از طرف دیگر 1ppb می‌تواند عدد بزرگی باشد. فرض کنید آب با 1PPb سیانید آلوده شده باشد، ماده‌ای بسیار سمی که از پیوند یک اتم کربن با یک اتم نیتروژن تشکیل شده است. اگر شما فقط یک قطره از این آب آلوده را بنوشید ۲ هزار بیلیون (۲تریلیون) از مولکول‌های سیانید را گوارش کرده‌اید.

$$\frac{\text{۲/۲}\times 10^{12}\ \text{مولکول}}{\text{قطره}} = \frac{\text{Cm}^3}{\text{۱۰ قطره}} \times \frac{\text{L}}{10^3\,\text{Cm}^3} \times \frac{1\,\mu\text{g HCN}}{\text{L}} \times \frac{1\,\text{g HCN}}{10^6\,\mu\text{g HCN}} \times \frac{\text{مول ۱}}{27\,\text{g HCN}} \times \frac{\text{۶/۰۲۳}\times 10^{23}\ \text{مولکول}}{\text{مول ۱}}$$

درمورد سیانید، مولکول‌های موجود در این قطره آب احتمالاً اثرات قابل‌ملاحظه‌ای نداشته باشند، هرچند برای سایر ترکیبات این همه مولکول ممکن‌است ماشه انجام جهش در DNA، ویا شروع رشد سلول‌های‌سرطانی را بچکانند. ارزیابی این خطرات یک امر نامشخص است.

جذب نبات

آفت‌کش‌ها معمولاً به‌وسیله‌ی گیاهان عالی جذب می‌شوند، و این به‌خصوص برای آفت‌کش‌هایی (حشره‌کش‌های سیستمی و اکثر علف‌کش‌ها) که باید برای ایفای نقش خود جذب شوند، صادق‌است. ممکن‌است مواد شیمیایی جذب‌شده دست‌نخورده داخل نبات باقی‌مانده و یا تجزیه گردند. بعضی از محصولات تجزیه بی‌ضرر بوده، اما بعضی برای انسان بیشتر از آفت‌کش اولیه جذب نبات شده سمی می‌باشند. وجود بقایای آفت‌کش‌ها، به‌خصوص در قسمت‌های از نبات که به‌وسیله‌ی مردم، چه به‌صورت میوه‌ی تازه و سبزی‌ها، و چه به‌صورت غذاهای فراوری شده مصرف می‌گردد بسیار موردتوجه جامعه است. مصرف آفت‌کش‌ها و میزان بقایای آفت‌کش‌ها در غذا برای تضمین سلامتی انسان شدیداً تحت مقررات قانونی است. به‌رغم نگرانی‌های زیاد، شواهد کمی وجود دارد که مقادیر اندک بقایای مجاز

[1] - No observable effect level
[2] - Health advisory level (HAL)

قانونی در غذا بتواند اثرات زیان‌آوری را بر سلامت جامعه داشته باشد. هرچند آزمایش‌های روزمره به‌وسیله‌ی سازمان‌های مسؤول نشان داده است که حدود۱ تا ۲ درصد نمونه‌های مورد آزمایش دارای بقایای آفت‌کش بیش از مقادیر مجاز بوده‌اند.

جدول۴-۱۸ آفت‌کش‌های موجود در آب زیرزمینی ناشی از مصرف عادی آن‌ها در کشاورزی : به دامنه تغییرات خیلی زیاد در میزان غلظت آن‌ها، که برای سلامتی خطرناک است، توجه کنید. تعداد اکثر چاه‌های نمونه‌برداری شده دچار آلودگی نبودند، امـا وقتی میزان علف‌کش در آن‌ها قابل ردیابی بود، مقدار آن‌ها در حدود و یا بالای میزان توصیه شده سالم قرار داشت.

آفت‌کش		نوع(الف)		میزان قسمت در بیلیون pbb		
				میـزان میانه(ب)	میــزان حداکثر	(ج)میزان توصیه شده سالم
آلاکلر	Alachlor	علف‌کش	H	۱	۱۱۳	-
آلدیکارب	Aldicarb	حشره‌کش	I	۹	۳۱۵	۱۰
اترازین	Atrazine	علف‌کش	H	۱	۴۰	۳
بروماسیل	Bromacil	علف‌کش	H	۹	۲۲	۹۰
کاربوفوران	Carbofuran	حشره‌کش	I	۵	۱۷۶	۴۰
سیانازین	Cyanazine	علف‌کش	H	۰/۴	۷	۱۰
	2, 4-D (2-4 Dichlorophenoxyacetic acid)	علف‌کش	H	۱	۵۰	۷۰
	(د)DBCP	تدخینی	FU	۰/۰۱	۰/۰۲	-
	DCPA	علف‌کش	H	۱۰۹	۱۰۴۰	۴۰۰۰
دینوزب (د)	Dinoceb	علف‌کش، حشره‌کش، قارچ‌کش		۱	۳۷	۷
	EDB	قارچ‌کش	F	۱	۱۴	-
فنوفوز	Fonofos	حشره‌کش	I	۰/۱	۰/۹	۱۰
مالاتیون	Malathion	حشره‌کش	I	۴۲	۵۳	۲۰۰
متولاکلر	Metolachlor	علف‌کش	H	۰/۴	۳۲	۱۰۰
متریبوزین	Metribuzin	علف‌کش	H	۱	۷	۲۰۰
اکسامیل	Oxamyl	حشره‌کش	I	۴	۳۹۵	۲۰۰
تریفلوران	Trifluran	علف‌کش	H	۰/۴	۲/۲	۵

الف : H علف‌کش، I حشره‌کش، F قارچ‌کش، Fum مواد تدخینی.

ب : ۵۰ درصد بالاتر و ۵۰ درصد پایین تر از این مقدار.

ج : HAL غلظتی است که احتمالاً سبب ایجاد مسایل بهداشتی در ۷۰ سال طول ایام زندگی گردد- جای خالی بیانگر عدم تعیین HAL می‌باشد

د : استفاده از این آفت‌کش در آمریکا ممنوع شده است.

دوام در خاک

دوام مواد شیمیایی در خاک حاصل مجموعه واکنش‌ها، جابه‌جایی‌ها، تجزیه‌شدن‌های مؤثر در این مواد است. تفاوت‌های مشـخص در دوام آن‌ها اساس تمیز و مشخص‌کردن آن‌هاست (شکل۶-۱۸). برای نمونه حشره‌کش‌های اورگانوفسفات ممکن‌است فقط چند روز در خاک باقی بمانند. علف‌کش بسیار پرمصرف 2,4-D فقط به‌مدت ۲ تا ۴ هفته باقی می‌مانند. PCBهـا DDTو سـایر هیـدروکربن‌هـای کلـردار ممکن‌است ۳ تا ۲۰ سال، و یا بیشتر در خاک باقی بمانند (جدول۵-۱۸). دوام سایر آفت‌کش‌ها و سایر مواد آلی شیمیایی بـین حـدود بیـان شده قرار می‌گیرد. اکثر آفت‌کش‌ها چنان به‌سرعت تجزیه می‌گردند که از تجمع آن‌ها در خاک درصورت مصرف معمول سـالانه جلـوگیری می‌شود. انواعی که درمقابل تجزیه مقاومند دارای توان بیشتری برای ایجاد خسارات زیست‌محیطی می‌باشند.

مصرف مداوم یک آفت‌کش در همان زمین می‌تواند میزان تجزیه‌ی میکروبی آن آفت‌کش را افزایش دهد. داشتن یک منبع غذایی ثابت به‌طور آشکار امکان تجمع میکروب‌هایی را که مجهز به آنزیم‌های موردنیاز برای تجزیه ترکیبات آلی می‌باشد، فراهم می‌کند. این مطلب در ارتباط با کیفیت زیست محیط یک مزیت به‌شمار آمده و به‌عنوان یک اصل در پاره‌ای موارد برای تمیزکردن محیط از ترکیبات آلی سمی مورد استفاده کاربرد دارد. اما ممکن‌است تجزیه چنان شدید باشد که سبب کاهش اثر آفت‌کش برای منظور اصلی گردد.

جدول ۵-۱۸ دامنه‌ی معمول پایداری تعدادی از ترکیبات آلی. خطر آلودگی محیط زیست با مواد شیمیایی با بیشترین دوام در بالاترین مقدار است.

مواد شیمیایی آلی	پایداری ۱
حشره‌کش‌های هیدروکربنه‌ی کلردار (نمونه DDT، کلردان و دی، آلدرین)	۲۰-۳ سال
PCB ها	۱۰-۲ سال
علف‌کش‌های تریازین (برای نمونه، ترازین و سیمازین)	۲-۱ سال
علف‌کش‌های اسیدبنزویک (برای نمونه، آمیبن [1] و دیکامبا [2])	۱۲-۲ ماه
علف‌کش‌های اوره دار (برای نمونه، ونورون [3] و دیورون [4])	۱۰-۲ ماه
و نیل کلراید	۵-۱ ماه
علف‌کش‌های فنوکسی (برای نمونه، 2,4-D و 2,4,5-T)	۵-۱ ماه
حشره‌کش‌های ارگانوفسفات (برای نمونه، مالاتیون و دیازینون)	۱۲-۱ هفته
حشره‌کش‌های کاربامات	۸-۱ هفته
علف‌کش‌های کاربامات (برای نمونه، باربان [5] و CIPC)	۸-۲ هفته

۴-۱۸ اثرات آفت‌کش‌ها بر جانداران خاک

از آن‌جاکه آفت‌کش‌ها برای کشتن جانداران فرمول‌بندی شده‌اند، تعجب‌آور نخواهد بود که بعضی از این ترکیبات برای جانداران خاص خاک سمی باشند. درضمن، تنوع جمعیت جانداران خاک چنان بزرگ است که به‌استثنای چند مواد تدخینی، اکثر آفت‌کش نمی‌توانند یک طیف گسترده از جانداران خاک را از بین برند.

مواد تدخینی

ترکیباتی هستند که برای پاک‌کردن خاک از آفت خاص مانند نماتدها به‌کار می‌روند. این ترکیبات اثرات شدیدتری بر جامعه‌ی گیاهان و جانوران خاک درمقایسه با سایر آفت‌کش‌ها دارند. برای مثال، ۹۹ درصد جمعیت هزارپایان به‌وسیله‌ی مواد تدخینیDD و وامپام[6] ازبین می‌روند، و دوسال طول می‌کشد تا جمعیت دوباره به‌طور کامل به وضع اول برگردد. خوشبختانه، زمان برگشت ریزگیاهان خاک بسیارکمتر است.

مواد تدخینی سبب کاهش تعداد گونه‌های گیاهی و جانوری، به‌خصوص درصورت تکرار عمل که در کنترل نماتد معمول است، خواهد شد. درضمن معمولاً تعداد باکتری‌ها بعد از تدخین این مواد ازقبل بیشتر است. این افزایش احتمالاً به‌خاطر غیبت نسبی رقبا و شکارچیان به‌دنبال تدخین و میزان کربن و منابع باقی‌مانده انرژی به‌وسیله‌ی جانداران مرده برای استفاده میکروبی می‌باشد.

اثر بر جامعه‌ی جانوری خاک

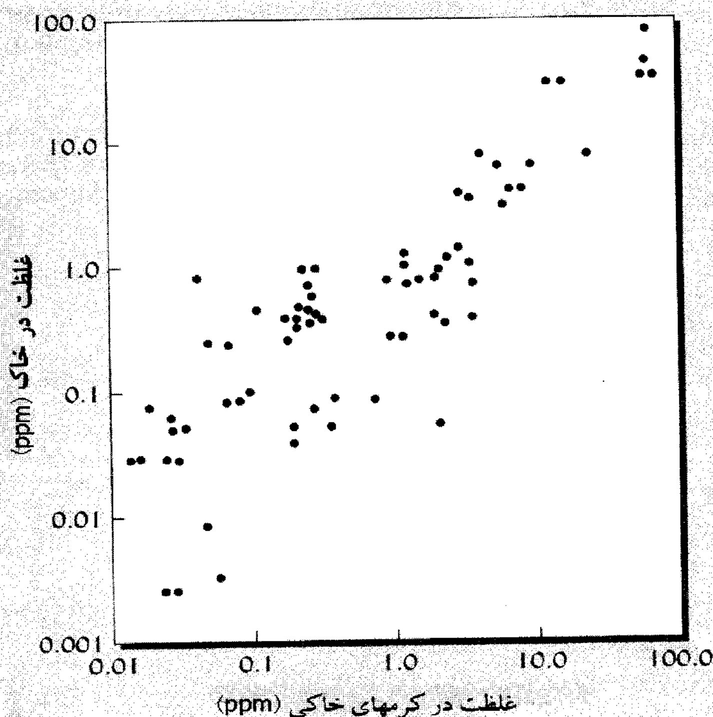
اثر آفت‌کش‌ها برروی جانوران خاک از ماده به‌ماده، و جاندار به جاندار، متفاوتند. نماتدها به‌غیر از مواد تدخینی خاصی معمولاً تحت‌تأثیر قرار نمی‌گیرند. کنه‌ها معمولاً به اکثر ارگانوفسفات‌ها و هیدروکربن‌های کلردار به‌استثنای آلدرین، حساسند. دم‌فنری‌ها ازنظر حساسیت به اورگانوفسفات‌ها و هیدروکربن‌های کلردار متفاوتند. بعضی از مواد شیمیایی برای این موجودات بسیار سمی می‌باشند.

---

[1] -Amiben
[2] -Dicamba
[3] -Monuron
[4] -Diuron
[5] -Barban
[6] -Vampam

کرم‌های خاکی: خوشبختانه، بسیاری از آفت‌کش‌ها اثرات جزیی بر کاهش جمعیت کرم‌های خاکی دارند، امّا استثناهایی نیز وجود دارد. دربین حشره‌کش‌ها، اکثر کاربامات‌ها (کارباریل[1] کاربوفوران[2] الدیکارب[3] و غیره) برای کرم‌های خاکی بسیار سمی می‌باشند. در بین علف‌کش‌ها، سیمازین[4] از اکثر آن‌ها سمی‌تر است. در بین قارچ‌کش‌ها، بنومیل[5] به‌طور غیرمعمول برای کرم‌های خاکی سمی است. غلظت آفت‌کش‌ها در بدن کرم خاکی در ارتباط نزدیک با مقدار این مواد در خاک می‌باشد (شکل۷-۱۸). بنابراین، کرم‌های خاکی می‌توانند پرندگان، جوندگان و سایر موجوداتی را که از صید آن‌ها تغذیه می‌کنند، شدیداً در معرض خطرات آفت‌کش قرار دهند.

آفت‌کش‌ها دارای اثرات قابل‌توجهی بر تعداد شکارچیان خاص، و درضمن، بر تعداد موجودات موردشکار می‌باشند. برای نمونه ممکن‌است حشره‌کش‌هایی که تعداد کنه‌های شکارچی را کاهش می‌دهند سبب تقویت تعداد دم‌فنری‌ها شوند که به‌عنوان صید کنه‌ها عمل می‌کنند (شکل۸-۱۸). چنین تعامل جانداران در اکثر خاک‌ها معمول است.



شکل ۷-۱۸ اثر غلظت آفت‌کش‌ها در خاک و غلظت آن‌ها در بدن کرم‌های خاکی. پرندگانی که این کرم‌های خاکی را با هر غلظتی از آفت‌کش مصرف می‌کنند سبب بیشتر غلیظ‌شدن آفت‌کش می‌گردند.

اثر آفت‌کش‌ها بر ریزجانداران خاک

تعداد کل باکتری‌ها در خاک معمولاً چندان به‌شدت به‌وسیله‌ی آفت‌کش‌ها تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد گرچه جانداران مسوول نیتراتی‌شدن و تثبیت نیتروژن بعضی مواقع به‌طور منفی تحت تأثیر قرار می‌گیرند. حشره‌کش‌ها و قارچ‌کش‌ها در هر دو فرایند فوق‌الذکر از هر آفت‌کش دیگری بیشتر مؤثرند، گرچه بعضی از علف‌کش‌ها نیز می‌توانند تعداد موجوداتی که این دو فرایند را به انجام می‌رسانند، کاهش دهند. شواهد جدید مطرح می‌کنند که بعضی از آفت‌کش‌ها می‌توانند تثبیت زیستی نیتروژن را با کاهش فعالیت تک‌یاخته‌گان و سایر جاندارانی که رقیب و یا شکارچی باکتری‌های تثبیت‌کننده‌ی نیتروژن می‌باشند، افزایش دهند. این یافته‌ها پیچیدگی بیشتر حیات را در داخل خاک تشریح می‌کند.

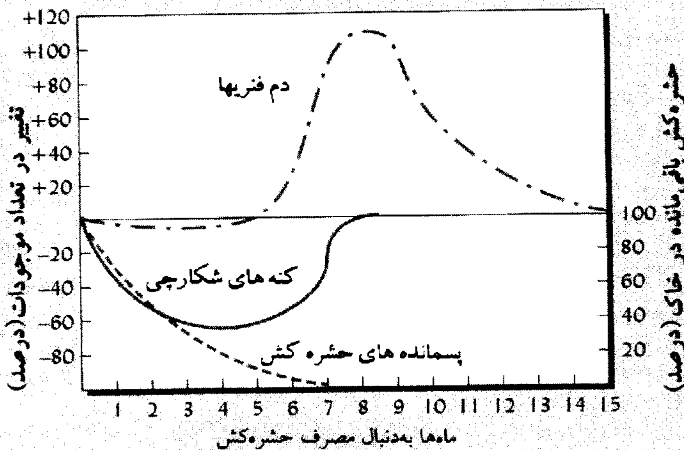
قارچ‌کش‌ها، به‌خصوص آن‌ها که به عنوان تدخینی به‌کار می‌روند، می‌توانند اثرات منفی بر قارچ‌ها و اکتینومیست‌های خاک داشته، و بنابراین، تجزیه و تخریب مواد آلی خاک و تشکیل هموس را کُند کنند. هرچند مسأله‌ی قابل‌توجه، تشدید فرایند آمونیاکی‌شدن در اثر مصرف آفت‌کش است.

---

1 -Carbaryal
2 -Carbofuran
3 -Aldicarb
4 -Simazine
5 -Benomyl

اثر منفی اکثر آفت‌کش‌ها بر ریزجانداران خاک موقتی بوده و بعد از چند روز و یا چند هفته معمولاً باز سازی می‌شود. اما استثناهای موجود دال بر حفظ جوانب احتیاط در مصرف این مواد شیمیایی است، و زمانی که گزینه مناسبی برای مدیریت آفات وجود نداشته باشد باید از آن‌ها استفاده گردد.

این مرور کوتاه بر رفتار مواد شیمیایی آلی در خاک‌ها پیچیدگی تغییراتی را که هنگام اضافه‌شدن مواد خارجی به محیط زیست ما صورت می‌گیرد مورد تأکید مجدد قرار می‌دهد. دانش ما از فرایندهای موجود در خاک نیاز به تجدیدنظری کلی در کارایی تأثیر بر زیست‌محیط را قبل از تصویب و استفاده از مواد شیمیایی جدید برای مصرف گسترده در اراضی مورد تأیید مجدد قرار می‌دهد.



شکل ۸-۱۸ اثر مستقیم حشره‌کش‌ها بر کنه‌های شکارچی در خاک و اثر غیرمستقیم کاهش تعداد کنه‌ها در جمعیت دم‌فنری‌ها (حشرات ریزی که به‌عنوان صید کنه‌ها عمل می‌کنند)

۵-۱۸ آسیب‌پذیری منطقه‌ای در آبشویی آفت‌کش‌ها

آسیب‌پذیری از نظر آبشویی آفت‌کش‌ها به آب زیرزمینی از منطقه به منطقه متفاوت است. بیشترین آسیب‌پذیری در مناطقی با بارندگی زیاد، وفورخاک‌های شنی، نظام‌های کشت‌وکار پرنهاده، و استفاده از آفت‌کش‌هایی صورت می‌گیرد که جذب ذرات خاک نمی‌شوند. جدول ۶-۱۸ نتایج مطالعه‌ای را که برای اندازه‌گیری آسیب‌پذیری مناطق مختلف آمریکا در آبشویی آفت‌کش‌ها و نیترات انجام شده است نشان می‌دهد. آسیب‌پذیری متوسط در ساحل جنوبی اقیانوس اطلس که خاک‌های شنی غالبند و نظام‌های کشت‌وکار پرنهاده (میوه‌ها و سبزی‌ها) رواج دارد بسیار زیاد است. همین‌طور، در کمربند کشت ذرت که اکثر اراضی زیر کشت مداوم ذرت با مصرف آفت‌کش و کود شیمیایی نیتروژنی بالا است، آسیب‌پذیری ناشی از آبشویی زیاد می‌باشد.

باید اشاره داشت که این اطلاعات منطقه‌ای ممکن‌است آسیب‌پذیری موضعی را در بعضی مناطق پنهان دارد. برای نمونه در مناطق خشک از ایالت‌های کوهستانی، مناطق زیر کشت آبی سبزی‌های پرنهاده قرار دارند که در آن‌ها آبشویی آفت‌کش‌ها و نیترات‌ها قابل‌ملاحظه است. همین‌طور مصرف بعضی از آفت‌کش‌های محلول در آب ممکن‌است سبب آبشویی آن‌ها به‌داخل آب زیرزمینی گردد، حتی اگر بافت خاک نیز سبک نباشد. این بیانگر سرشت وابستگی محلی خطرات در آفت‌کش‌ها است.

۶-۱۸ بهبود خاک‌های آلوده با مواد شیمیایی آلی

خاک‌های آلوده شده به‌وسیله‌ی آلاینده‌های آلی در سراسر جهان یافت می‌شوند. اراضی وسیع آلوده شده با آفت‌کش‌های آلی را می‌توان با کاهش میزان مصرف آفت‌کش‌ها، مصرف ترکیبات دارای سمیت و تحرک کمتر و تجزیه‌پذیری بیشتر مشخص کرد. بوم‌سامان خاک در یک زمان معقول باید قادر به بازیافت نقش و تنوع خود ازطریق خود پالایی[1] باشد.

شاید مناطق در اطراف مراکز پرجمعیت، که طی ده‌ها سال ضایعات آلی صنعتی و خانگی در خاک آن‌ها تجمع پیدا کرده است، دارای بیشترین اهمیت باشند. میزان این آلایش حاد چنان بالا است که کشت گیاهان محدود یا ممنوع شده است. آلاینده‌ها به داخل آب زیرزمینی راه یافته و آب مشروب را برای مصارف انسانی نامناسب می‌سازند. ماهی‌ها و حیات‌وحش دچار صدماتی می‌شوند.به خاطر نگرانی عمومی،

[1] -Self remediation

صنعت و حکومت سالانه بیلیون‌ها دلار برای تمیزکردن (پالایش) این خاک‌های آلوده‌شده هزینه می‌کنند. ما در این‌جا بعضی از روش‌های به‌کارگرفته به‌وسیله‌ی آن‌ها را شرح می‌دهیم.

جدول ۶-۱۸ نتایج آسیب‌پذیری متوسط آبشویی آفت‌کش‌ها و نیترات‌ها در مناطق مختلف آمریکا: نتایج بر اساس انواع و مقادیر آفت‌کش مصرف‌شده در یک منطقه، و توان برای آبشویی از خاک در هر منطقه می‌باشد. هرچه عدد بزرگ‌تر باشد آسیب‌پذیری منطقه در آبشویی این مواد شیمیایی بیشتر است. به آسیب‌پذیری آفت‌کش‌ها در ایالت‌های آتلانتیک جنوبی، کمربند کشت ذرت و ایالت‌های دلتایی توجه کنید.

منطقه	آبشویی مقایسه‌ای(متوسط=۱۰۰)	
	آفت‌کش	نیترات
شمال شرق	۲۶	۳۹
ساحل جنوبی اطلس	۴۲۰	۱۵۱
منطقه اپلاچی	۹۰	۱۵۳
ایالت‌های دریاچه ای	۷۴	۷۶
منطقه کمربند ذرت	۱۵۶	۳۳۶
ایالت‌های مصبی	۱۰۹	۱۲۰
دشت‌های شمالی	۴۵	۴۷
دشت‌های جنوبی	۲۲	۳۹
ایالت‌های کوهستانی	۱۵	۱۰
ساحل اقیانوس کبیر	۴۴	۲۹
میانگین	۱۰۰	۱۰۰

روش‌های فیزیکی و شیمیایی

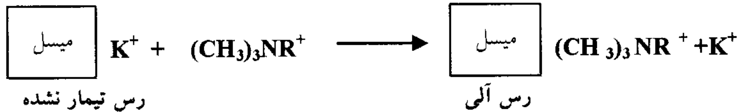
مهم‌ترین روش‌های معمول رفع آلودگی خاک شامل روش‌های فیزیکی و یا روش‌های شیمیایی اصلاح خاک در محل اصلی[1] و یا خارج از محل اصلی[2] (انتقال خاک به محل اصلاح)است. روش دوم شامل استخراج خاک و انتقال آن به مخازن اصلاح بوده که در آن‌جا برای خروج مواد شیمیایی فرار و تجزیه‌ی بقیه مواد حرارت داده می‌شوند. ممکن است مواد محلول در آب و مواد شیمیایی فرار به‌وسیله‌ی راندن آب و هوا به داخل و یا خارج کردن آن‌ها به‌وسیله‌ی مکیدن[3] و یا آبشویی[4] از خاک جدا شوند. این روش‌ها معمولاً بسیار مؤثر، اما بسیار پرهزینه نیز می‌باشند، به‌خصوص اگر با مقادیر زیاد خاک سروکار داشته باشیم.

روش‌های اصلاح در جا، اگر فناوری‌های مناسب وجود داشته باشند معمولاً ترجیح داده می‌شوند. در این روش خاک به‌صورت طبیعی در محل اصلی باقی مانده، و بنابراین، هزینه‌های استخراج و انتقال کاهش یافته و قابلیت انعطاف کاربری اراضی در آینده افزایش خواهد یافت. مواد آلاینده یا از خاک برداشت‌شده(رفع آلودگی) و یا در داخل ماتریکس خاک جذب می‌شوند (در پیوند قرار گرفته و یا تثبیت می‌شوند). رفع آلودگی در محل اصلی شامل همان سازوکارهای آبشویی[5]، شستشو و عصاره‌گیری با مکش است که در روش خارج از محل اصلی (انتقال) معمول می‌باشند. اصلاح با آب برای ترکیبات غیرقطبی که به‌وسیله‌ی آب دفع می‌شوند مؤثر نیستند، دانشمندان و مهندسین ترکیباتی به اسم خیس‌کننده[6] بر روی سطح خاک پاشیده و یا آنرا در داخل خاک تزریق می‌کنند. با حرکت این مواد به داخل خاک آلاینده‌های آلی حل گردیده و سپس با پمپاژ از خاک خارج می‌شوند.

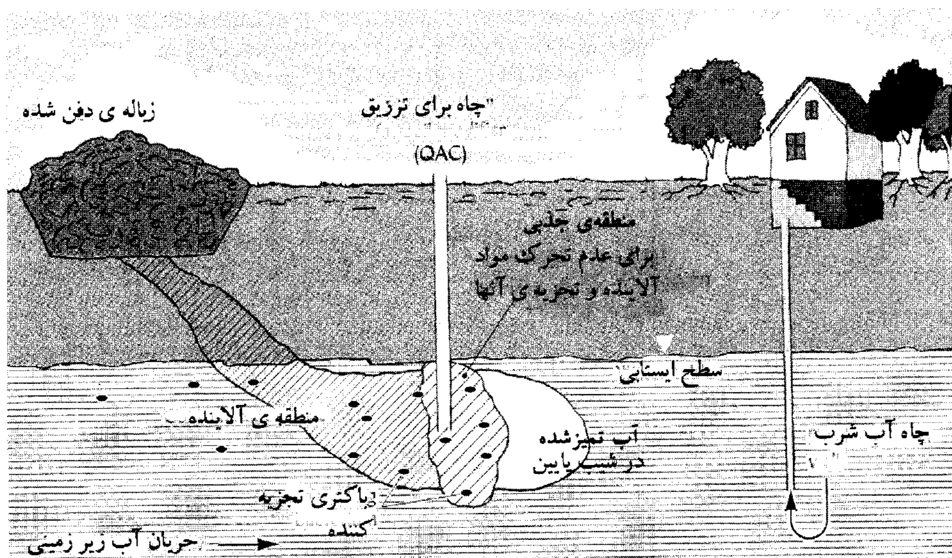
---

1 -In situ
2 -Ex situ
3 -Vacuum extraction
4 -Leaching
5 -Flushing
6 -Surfactants

رس‌های آلی: ممکن است بعضی از مواد خیس‌کننده برای عدم تحرک و یا تثبیت آلاینده‌های خاک به‌کار روند آن‌ها دارای بار مثبت بوده و ازطریق تبادل کاتیونی می‌توانند کاتیون‌های فلزی را از سطح خاک خارج سازند. برای مثال، یک گروه از این مواد خیس‌کننده به اسم ترکیبات آمونیوم چهارتایی[1] (QAC)با فرمول کلی $(CH_3)_3NR^+$ بوده که R یک الکیل آلی[2] و یا گروه حلقوی معطر[3] می‌باشد. بار مثبت QAC،تبادل کاتیونی را با واکنش‌های مثل زیر با استفاده از کاتیون‌های قابل تبادل یک‌ظرفیتی تقویت می‌کند.



حاصل نهایی رس آلی نامیده می‌شود که خصوصیات آن با رس اولیه‌ی تیمارنشده بسیار متفاوت است. این رس‌ها به جای دافع مواد آلی غیرقطبی آن‌ها را جذب می‌کنند. بنابراین، تزریق QAC،به داخل منطقه آب زیرزمینی ایجاد رس‌های آلی را تقویت کرده و بنابراین، مواد محلول آلاینده در آب زیرزمینی را از تحرک باز داشته، وآن‌ها را تا تجزیه‌ی نهایی در داخل خاک نگاه می‌دارد (شکل ۹-۱۸).



شکل ۹-۱۸ چگونه مجموعه QAC(هگزادسیل‌تری‌متیل‌آمونیوم[4]) و تجزیه‌ی زیستی باکتریایی می‌تواند سبب نگهداری و حذف یک آلاینده آلی گردند. آلاینده ازیک محل دفع زباله به‌داخل آب زیرزمینی حرکت می‌کند. QAC تزریق‌شده درمسیر حرکت آب زیرزمینی با رس خاک وارد واکنش شده، رس‌آلی و همتافت‌های ماده‌ی آلی خاک را ایجاد و آلاینده را جذب و تثبیت می‌کند و زمان لازم به ریز جانداران خاک برای تجزیه و نابودی آن فراهم می‌گردد.

ضرایب توزیع K_d: همان‌طورکه در بخش ۱۶-۸ یاد گرفتیم، میزان جذب ترکیبات آلی به‌وسیله‌ی کلوییدهای خاک معمولاً به‌وسیله‌ی ضریب توزیع بین بخش‌های جذب‌شده و محلول ترکیب آلی مشخص می‌گردد.

$$K_d = \frac{\text{میلی‌گرم ماده آلاینده در کیلوگرم خاک}}{\text{میلی‌گرم ماده آلاینده در لیتر محلول}}$$

K_d رس‌های عمل نیامده بسیار پایین است، زیرا رس‌ها آب‌دوست[5] بوده و لایه‌های آب چسبیده به آن‌ها سبب دفع ترکیبات آلی غیرقطبی آب‌گریز[6] می‌شود. برعکس، رس‌های آلی[7] سبب جذب آلاینده‌ها شده، و مقدار اندکی را در محلول خاک باقی می‌گذارد. و بنابراین، حرکت آن‌ها را به داخل آب زیرزمینی و نهایتاً به رودها ویا منابع آب آشامیدن کاهش می‌دهند. بنابراین، مقادیر نسبت K_d

1 -Quaternary ammonium compounds
2 -Organic Alkyl
5 -Aromatic Group
4 -Hexadecyltrimethylammonium
5 -Hydrophillic
6 -Hydro phobic
7 -Organoclay

آلاینده‌های آلی بر روی رس‌های آلی معمولاً ۱۰۰تا۲۰۰ برابر رس‌های عمل نیامده است. جدول۷-۱۸ مقدار K_d را برای بعضی از آلاینده‌های آلی معمولی در روی رس‌های آلی نشان داده، و بیانگر قدرت بسیار زیاد جذب در جذب کننده‌های جدید است. توان جذب آن‌ها براثر ایجاد ترکیبات همتافت بین ترکیبات آلاینده آلی با مواد آلی خاک کامل می‌شود. بنابراین، رس‌های آلی سازوکار امیدبخشی برای نگهداری آلاینده‌های آلی خاک تا تجزیه‌ی آن‌ها به‌وسیله‌ی فرایندهای زیستی و یا فیزیکوشیمیایی ارائه می‌دهند.

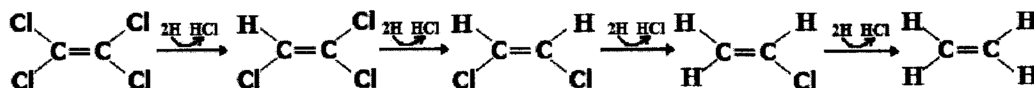
جدول ۷-۱۸ میزان ماده‌ی آلی پس از اصلاح رس‌های دارای ظرفیت تبادل کاتیونی مختلف با QAC برای ایجاد رس آلی و ضرایب جذب K_d ترکیبات آلی در روی این رس‌های آلی: مقادیر بالای K_d بیانگر نگهداری بالای آلاینده‌ها و غلظت کم آن‌ها در محلول می‌باشد. به تمایل کمتر کائولنیت، ایلیت در تشکیل رس‌های آلی و به ضرایب جذب متفاوت درترکیبات مختلف توجه کنید.

رس	CECرس عمل نیامده Cmol/kg	درصد کربن آلی در رس آلی	K_d آلاینده‌های آلی بر روی رس‌های آلی				
			بنزن	تولئن	اتیل بنزن	پروپیل بنزن	نفتالین
ایلیت	۲۴	۲.۵	۳۹	۷۷	۱۵۶	-	۱۲۷۰
ورمی‌کولیت	۸۰	۱۶.۴	۶۸	۱۶۹	۴۴۸	۱۶۱۸	۱۳۸۷
اسمکتیت بار زیاد	۱۳۰	۲۳	۱۸۴	۳۱۹	۵۸۳	۱۴۱۲	۴۸۱۸
کائولنیت	۴	۱	۳	۷	۲۱	-	-

پالایش زیستی[1]

برای خاک‌های خیلی آلوده یک جایگزین زیستی برای روش‌های حرارت‌دادن، آبشویی و دفن[2] به اسم پالایش زیستی وجود دارد. به‌طور ساده، این روش سبب ارتقای فعالیت گیاهی و میکروبی برای تجزیه آلاینده‌های آلی به محصولات بی‌ضرر حاصل از سوخت‌وساز می‌باشد. اجزای نفت که شامل هیدروکربن‌های حلقوی پلی‌اکریل[3] بسیار مقاومند و همچنین چندین ترکیبات مصنوعی مانند پنتاکلروفنل[4] و تری‌کلرواتیلن[5] می‌توانند عمدتاً به‌وسیله‌ی باکتری‌های خاک تجزیه شوند. در بعضی موارد، از موجودات حاضر در خاک بهره‌گیری می‌شود. درموارد دیگر میکروب‌ها اختصاصاً با توجه به توانایی آن‌ها در حذف آلاینده‌ها انتخاب و به‌داخل مناطقی از خاک که از نظر آلودگی شناخته‌شده می‌باشند، ارائه می‌شوند. برای مثال، اخیراً یک باکتری مشخص شده است که می‌تواند سمیت پرکلرو اتان (PCE) را که یک آلاینده معمول و بسیارسمی در آب زیرزمینی مشکوک به ایجاد سرطان است از بین ببرد.

این باکتری سبب حذف سریع چهار اتم کلر ازPCE شده و گاز اتیلن که نسبتاً غیرمضر برای انسان می‌باشد ایجاد می‌کند.



ماده‌ی مشکوک به سرطان‌زایی   اتیلن گاز بی‌ضرر

پاک‌سازی گیاهی[6]: مشخص شده‌است که گیاهان عالی نیز در رفع آلودگی زیستی مؤثرند. فرایندی که مورداستفاده می‌باشد، رفع آلودگی گیاهی نامیده می‌شود. سال‌هاست که نظام‌های وابسته به نبات برای حذف آلاینده‌های فاضلاب شهری مورد استفاده می‌باشد. به‌تازگی این انگاره به آلاینده‌های صنعتی و آلاینده‌های آب زیرزمینی کم‌عمق، از همه نوع معدنی و آلی، تعمیم‌یافته است. بسیاری از گونه‌های نباتی اهلی و وحشی برای رفع آلودگی گیاهی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. علف‌های مَرغ‌زار می‌توانند تجزیه محصولات نفتی از جمله PAHS را تقویت‌کنند. اخیراً مشخص شده‌است که گل‌وحشی بهاره در کشور کویت که هیدروکربن‌های نشت‌یافته از نفت را تجزیه‌می‌کند. صنوبرهای دورگه سریع‌الرشد می‌تواند ترکیبات مهمات مانند تری‌نیتروتولوئن (TNT) و همین‌طور آفت‌کش‌ها و نیترات اضافی را تجزیه کنند.

---
1 -Bioremediation
2 -Land filling
3 -Polyacrylic aromatic hydrocarbons(PAHS)
4 -Pentachlorophenol
5 -Trichloroethylene
6 -Phytoremediation

بعضی از گیاهان می‌توانند آلاینده‌های آلی خاص را جذب و مورد سوخت‌وساز قرار دهند. بعضی دیگر موادی از ریشه خود ترشح می‌کنند که می‌تواند به تجزیه‌ی آلاینده‌ها کمک کنند. هرچند عامل اصلی در تجزیه آلاینده‌ها با همکاری گیاهان و ریزجاندارانی می‌باشد که با ریزوسفر نبات همراهند. ریشه‌ی نباتات موادی ترشح می‌کنند که به‌عنوان منبع انرژی برای میکروب‌ها بوده و آن‌ها هم آنزیم‌هایی ترشح می‌کنند که می‌تواند آلاینده‌های آلی را تجزیه کند. همان‌طورکه بعداً خواهیم دید(فصل ۱۰-۱۸) رفع آلودگی‌های گیاهی برای حذف فلزات سنگین و سایر آلاینده‌های معدنی و ازجمله مواد پرتوزا بیشتر مؤثر می‌باشند.

رفع آلودگی به‌وسیله‌ی نبات، مخصوصاً وقتی مناطق بزرگی از خاک به‌وسیله‌ی آلاینده‌های آلی فقط با غلظت متوسط آلوده شده باشند سودمند خواهد بود. هرچند رفع آلودگی به‌وسیله‌ی نبات زمان طولانی‌تری را برای جداسازی مقادیر زیاد آلاینده‌ها درمقایسه با روش‌های مهندسی لازم دارد.

قابلیت استفاده‌ی زیستی[1] مواد شیمیایی جذب‌شده و یا همتافت شده: محققین دریافته‌اند که به‌نظر می‌رسد بعضی از مواد شیمیایی که به‌طور معمول درمعرض حمله میکروبی قرار می‌گیرند درصورت جذب به‌وسیله‌ی مواد معدنی و یا همتافت‌شدن به‌وسیله‌ی ماده‌ی آلی خاک از تجزیه محافظت می‌شوند. همتافت‌کردن اساساً غیرقابل‌برگشت بوده و جذب به‌وسیله‌ی اکسیدهای Fe وAl و یا سیلیکات‌های رسی چنان محکم است که این ترکیبات به کندی بسیار قابل‌استفاده می‌باشند.

ممکن است بعضی از ترکیبات در لایه‌های داخل ساختمان بعضی از رس‌های سیلیکاتی محبوس شوند. قابلیت استفاده زیستی با مسن‌شدن همتافت‌های خاک و آلاینده کاهش می‌یابد. کاهش قابلیت استفاده زیستی آلاینده‌ها پاک‌سازی آن‌ها را به‌وسیله‌ی ریزجانداران محدود می‌سازد. ازآن‌جاکه به‌نظر نمی‌رسد آلاینده‌های محکم نگهداری‌شده به داخل آب زیرزمینی و یا جای دیگر در زیست‌محیط حرکت کنند این امر برای تدوین مقررات تا حدی کاربرد دارند.

تأمین عناصر غذایی: فناوری پالایش زیستی از چند طریق تجزیه شیمیایی طبیعی را یاری می‌دهد. معمولاً خاک به‌طور طبیعی حاوی بعضی باکتری‌ها ویا دیگر ریز موجودات است که می‌توانند آلاینده‌های خاصی را تجزیه کنند، اما سرعت تجزیه طبیعی چنان کند است که نمی‌تواند بسیار مؤثر باشد. رشد و میزان سوخت‌وساز موجوداتی که دارای توان استفاده از آلاینده‌ها به عنوان منبع کربن هستند، به‌دلیل کافی‌نبودن عناصر غذایی معدنی، محدود است. (بخش ۳-۱۲ را درمورد بحث C/N و تجزیه مواد آلی مطالعه کنید). کودهای شیمیایی با فرمول‌های خاص برای سرعت بخشیدن هرچه بیشتر به فرایند تجزیه مورد استفاده قرار گرفته‌اند. یکی از این کودها که در فرانسه ساخته شده است، امولسیون روغنی اوره خیلی ریز در آب[2]، لوریل فسفات[3] و یک تثبیت‌کننده‌ی امولسیونی است. این کود نه‌تنها به‌عنوان عرضه‌کننده‌ی عناصر غذایی عمل می‌کند، بلکه می‌تواند به‌صورت یک خیس‌کننده تعامل بین میکروب‌ها و مواد آلاینده آلی را ارتقاء دهد.

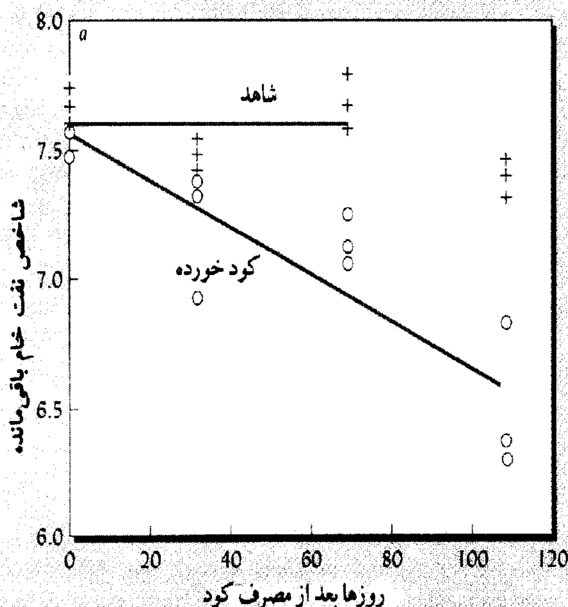
تمیزکردن نشت‌های نفتی: ۳۰ جنس ویا بیشتر از باکتری‌ها وقارچ‌ها تقریباً در هر خاک و یا محیط‌های آلی از نظر تجزیه هیدروکربن‌ها شناخته شده‌اند، اما این ریزجانداران نیازمند مساعدت می‌باشند. تمیزکردن آلودگی نفت خام نشت‌یافته اکسون‌والدز[4] در آب‌های آلاسکا درسال ۱۹۸۹ یک مورد خاص موفقیت‌آمیز پالایش زیستی با استفاده از کود بود (شکل ۱۰-۱۸). یک کود خاص برروی سواحل آغشته به نفت (آنتی‌سول‌ها) پاشیده شد. کود شیمیایی برای نفت‌دوستی (محلول در نفت اما غیرمحلول در آب) فرموله شده بود به‌طوری که می‌توانست با نفت باقی‌مانده، سبب غنی‌شدن ترعه‌ی پرنس‌ویلیام نگردد. درطول چند هفته به‌رغم سرمای زیاد اکثر نفت موجود در محل آزمایش تجزیه گردید. موفقیت پالایش زیستی درصورت قابل استفاده بودن زیاد نیتروژن برای ریزجانداران در بالاترین مقدار بود.

سازوکارهای درجا[5]: سایر موارد، استفاده از سازوکارهای پالایش زیستی درجا را طلب می‌کند. در بعضی موارد تخلخل پایین سبب کمبود اکسیژن و درنتیجه کاهش فعالیت میکروبی می‌شود. سازوکارهایی ابداع شده‌اند که از پالایش زیستی برای تمیزکردن آلودگی خاک‌های دارای کمبود اکسیژن و آب‌های زیرزمینی آلوده همراه آن استفاده می‌شود. برای نمونه، خاک‌های آلوده با مواد حلال آلی با فرستادن مخلوطی از هوا(اکسیژن)، متان (به عنوان یک منبع کربن برای تقویت باکتری‌های خاص)، و فسفر(عنصر غذایی لازم برای رشد باکتری‌ها) به‌طور زیستی پالایش شده‌اند (شکل ۱۱-۱۸).

---

1 -Bioavailabity
2 -Oil-in –Water microemulsion urea
3 -Lauryl phosphate
4 -Exxon Valdez
5 -In situ Techniques

موفقیت‌هایی در تلقیح خاک‌های آلوده با جانداران اصلاح‌شده که می‌توانند آلاینده‌ها را با سرعت بیشتر از جمعیت بومی تجزیه کنند بدست آمده است. گرچه مفیدبودن مهندسی ژنتیک در ایجاد باکتری‌های برتر در آینده ثابت شده است، اکثر تلقیح‌ها با استفاده از موجوداتی که در شرایط طبیعی یافت می‌شوند بدست آمده‌اند. موجوداتی که از مناطق دارای تاریخ طولانی در آلودگی خاص جداشده و یا از کشت آزمایشگاهی برروی مواد غذایی غنی از آلاینده موردنظر بدست آمده‌اند، تمایل دارند که در سوخت‌وساز مواد شیمیایی مورد هدف سازگاری پیدا کنند.





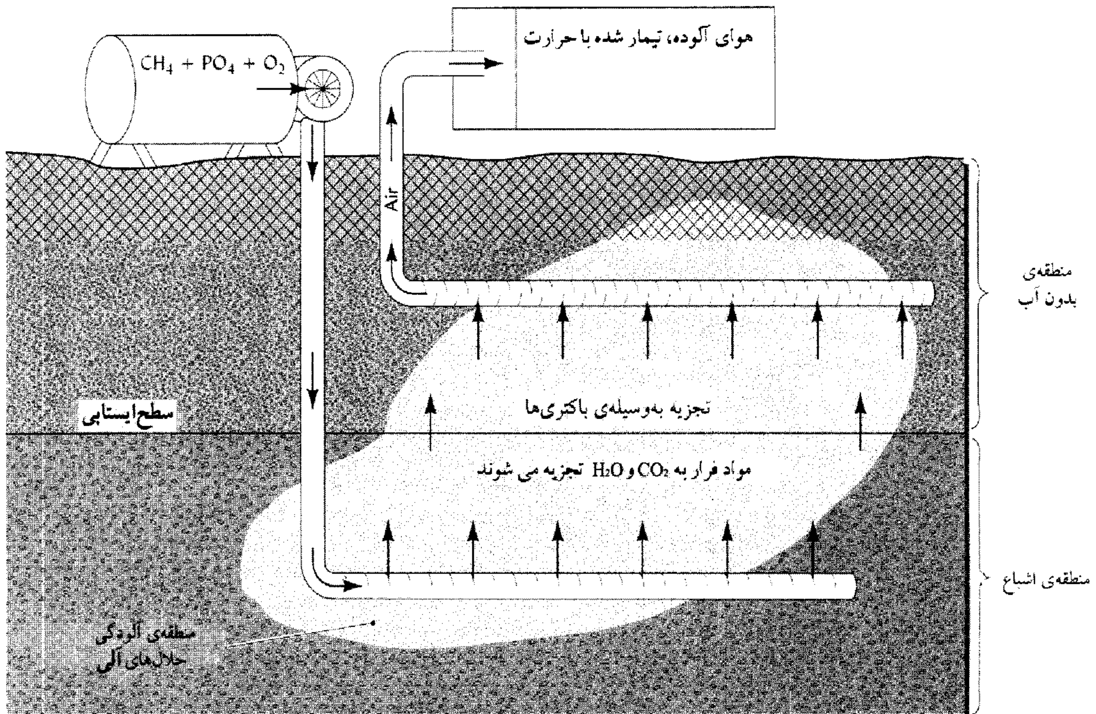
شکل ۱۰-۱۸ پالایش زیستی نفت خام در حادثه نشت نفت اکسون والدز در ساحل آلاسکا. نفتی که سبب آلودگی ساحل بود به‌وسیله‌ی باکتری‌های بومی وقتی یک کود محلول در نفت حاوی نیتروژن و فسفر بر روی ساحل پاشیده شده تجزیه گردید(علامتO درروی خط سمت چپ). در قسمت شاهد ساحل(علامت+) برای ۷۰ روز کود مصرف نشد. مصرف کود بعد از آن تاریخ چنان اثر داشت که تصمیم گرفته شد قسمت شاهد نیز پاک‌سازی شود. شاخص باقی‌مانده نفت (محور عرض‌ها) براساس مقیاس لگارتمی طبیعی است بنابراین هر شماره کامل بیانگر بیش از دو برابر است. عکس (سمت راست) مرز مشخص بین بخش شاهد و قسمت کودخورده را در ساحل نشان می‌دهد.

۷-۱۸ آلایش با مواد معدنی سمی

برآورد شده است که سمیت آلاینده‌های معدنی که هرسال در محیط زیست رها می‌شوند، از مجموع منابع آلی و مواد پرتوزا بیشتر است. بیشترین مسائل به احتمال زیاد شامل جیوه، کادمیم، سرب، آرسنیک، نیکل، مس، روی، کروم، مولیبدن، منگنز، سلنیم، فلور و بر می‌باشد. تمام این عناصر در درجات کمتر و بیشتر برای انسان‌ها و سایر حیوانات سمی هستند. کادمیم و ارسنیک فوق‌العاده سمی می‌باشند، جیوه، سرب، نیکل و فلور در حد متوسطی سمی بوده، بر، مس، منگنز و روی دارای سمیت نسبتاً کمتری در پستانداران می‌باشند. اگرچه عناصر فلزی (به‌استثنای فلور و بر) همگی فلزات سنگین نیستند اما برای سهولت معمولاً این واژه‌گان برای مراجعه به آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. جدول ۸-۱۸ اطلاعات زمینه را در مورد استفاده، منابع و اثرات بعضی از این عناصر را ارائه می‌دهد.

منابع و تجمع عناصر

منابع بسیار زیادی از مواد آلاینده شیمیایی معدنی وجود دارند که می‌توانند در خاک‌ها تجمع یابند. سوزاندن سوخت‌های فسیلی، ذوب فلزات و سایر سازوکارهای فرآوری که تنها از این مواد را به نیوار رها می‌سازند می‌توانند آن‌ها را کیلومترها انتقال داده و بعداً بر روی پوشش گیاهی و یا خاک ترسیب کنند. مس، نیکل و بر مواد افزودنی به بنزین هستند که به‌داخل نیوار رها شده و به‌وسیله‌ی بارندگی و برف به خاک باز می‌گردند.



شکل ۱۱-۱۸ پاک‌سازی زیستی در جا در خاک و آب زیرزمینی آلوده شده با حلال‌های آلی فرار در یک منطقه صنعتی در ایالت جورجیا. مخلوطی از متان، هوا و فسفر از طریق لوله‌های مشبک به‌طور متناوب به‌داخل خاک پمپ می‌شوند. درحالی‌که لوله دیگر (تحت مکش) هوا را از خاک خارج می‌سازد. هوا و عناصر غذایی سبب تقویت رشد باکتری‌های خاص گشته که به‌محض تمام‌شدن مصرف متان، به حلال آلی برای منبع کربن رو می‌آورند. برآورد شده است که فناوری پالایش زیستی در این مکان، زمان تمیزکردن را از ۱۰ سال به کمتر از ۴ سال تقلیل داده و ۱/۶ میلیون دلار صرفه‌جویی می‌کند.

بوراکس در مواد پاک‌کننده، کودهای شیمیایی و مواد خاموش‌کننده آتش به‌کار می‌رود که همگی معمولاً به خاک می‌رسند. سوپرفسفات و آهک دو ماده اصلاح‌کننده با مصرف زیاد معمولاً دارای مقادیر اندکی کادمیم، مس، منگنز، نیکل و روی می‌باشند. کادمیم در آبکاری فلزات و در باطری‌سازی مصرف می‌شود. ارسنیک سال‌های زیاد به‌عنوان حشره‌کش پنبه، تنباکو، میوه‌ها، چمن و به‌عنوان کشنده گیاهان هرز و رونده‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. بعضی از این فلزات مورد اشاره به‌عنوان اجزای آفت‌کش‌های آلی خاص و یا در لجن فاضلاب خانگی و صنعتی یافت می‌شوند. آلایش اضافی خاک‌ها به‌طور موضعی با فلزات از بخارات کوره‌های ذوب فلزات، ضایعات صنعتی و آلودگی هوا حاصل می‌شود.

بعضی از فلزات سمی در مقادیر زیاد در نیوار رها می‌شوند، درحالی‌که بقیه (عمدتاً سرب، به‌خاطر تغییر در فرمول بنزین)درحال کاهش می‌باشند. تمام این مواد به‌طور روزانه از طریق هوا، غذا، آب و خاک‌ها به‌وسیله‌ی انسان جذب می‌شوند.

تراکم در بافت‌های جانداران

عناصر سمی با هر منشاء نهایتاً به خاک رسیده و در آن‌جا به بخشی از زنجیره غذایی: خاک←گیاه ← حیوان← انسان (شکل۱۲-۱۸) تبدیل می‌شوند. متأسفانه، وقتی عناصر به بخشی از این چرخه تبدیل می‌شوند، آن‌ها ممکن است در بافت‌های حیوانی و انسانی در حد سمیت تجمع یابند. این موقعیت برای ماهی‌ها و سایر حیات‌وحش و انسان، که در بالای زنجیره غذایی می‌باشد، خطرناک خواهد بود. این قبلاً سبب ایجاد محدودیت‌هایی برای مصرف ماهی‌ها و دیگر حیوانات وحشی خاص برای مصرف انسان شده است. امروزه جلوگیری از رهاشدن این عناصر سمی در شکل ضایعات کارخانه‌ها الزامی گردیده است.

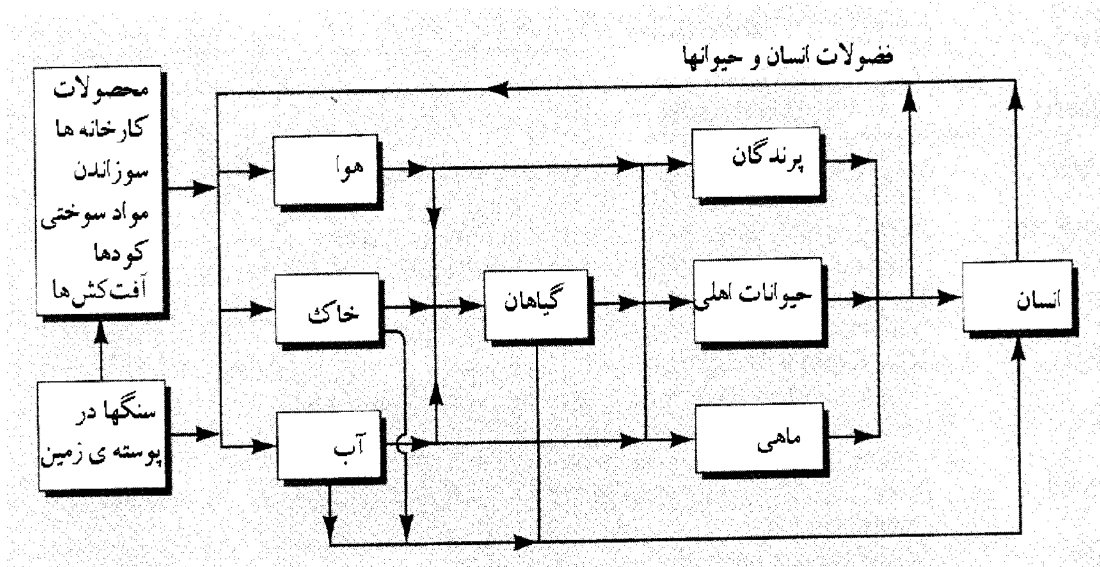
۸-۱۸ خطرات بالقوه مواد شیمیایی در لجن فاضلاب

لجن فاضلاب‌های خانگی و صنعتی که در فصل ۱۶ مورد ملاحظه قرار گرفت، منابع عمده مواد شیمیایی دارای سمیت بالقوه می‌باشند. حداقل نصف لجن فاضلاب شهری تولیدشده در آمریکا در خاک مصرف می‌شود، چه در روی اراضی کشاورزی و یا اراضی اصلاح‌شده

بعد از فعالیت‌های معدن‌داری و صنعتی. لجن فاضلاب صنعتی معمولاً مواد شیمیایی آلی و معدنی در بر داشته که می‌توانند اثرات زیست‌محیطی خسارت باری داشته باشند.

جدول ۸-۱۸ برخی منابع آلاینده‌های معدنی خاک

مواد شیمیایی	استفاده‌های عمده و منابع آلاینده‌ی خاک	موجوداتی که عمدتاً صدمه می‌بینند	اثرات بر سلامت انسان
ارسنیک	آفت‌کش‌ها،خشک‌کننده‌ی گیاهان ، مواد اضافی غذای دام، ذغال‌سنگ و نفت، بقایای معدن، مواد پاک‌کننده	انسان، حیوان، ماهی، پرنده	سم تجمعی، احتمالاً سرطان
کادمیم	آبکاری برقی،دانه‌های رنگی برای پلاستیک و رنگ‌ها، پایدارکننده‌ی پلاستیک، ساخت باطری وکودهای فسفاته	انسان، حیوان، ماهی، پرنده، گیاهان	امراض قلب و کلیه، پوکی استخوان
کروم	فولاد ضد زنگ، فلزات با آب کروم،دانه‌های رنگی، کارخانه آجر نسوز و نرم کردن چرم	انسان، حیوان،ماهی، پرنده	عامل موتاسیون و از عناصر غذایی اصلی
مس	بقایای معدن، خاکستر شناور، کودهای شیمیایی، مواد باد رفته حاوی مس و لوله‌های آب	ماهی وگیاه	از عناصر غذایی اصلی اثر اندک بر سلامت
سرب	احتراق بنزین، نفت و زغال سنگ، تولید آهن و فولاد ولحیم بر روی اتصالات لوله‌های آب	انسان، حیوان، ماهی، پرنده	خسارت مغزی، تشنج
جیوه	آفت‌کش، کاتالیزور برای پلیمرهای مصنوعی، ذوب فلزات و دماسنج	انسان، حیوان، ماهی، پرنده	خسارت به اعصاب
نیکل	احتراق ذغال‌سنگ، بنزین و نفت، کارخانه‌های آلیاژ، آبکاری برقی، ساخت باطری و استخراج معادن	ماهی وگیاه	سرطان شش
سلنیم	تشکیلات زمین‌شناسی حاوی سلنیم و آبیاری با پساب غنی از سلنیم	انسان، حیوان، ماهی، پرنده	ریختن مو و تغییر شکل ناخن عنصر اصلی
روی	فولاد و آهن گالوانیزه، آلیاژ ، باطری، برنج، کارخانه‌های لاستیک‌سازی، استخراج معدن و لاستیک‌های کهنه	ماهی وگیاه	خسارت اندک، عنصر غذایی اصلی



شکل ۱۲-۱۸ منابع فلزات سنگین و چرخه‌ی آن‌ها در بوم‌سامان خاک، آب، هوا و جانداران. باید توجه نمود که میزان فلزات در اندام‌های موجودات معمولاً از چپ به راست افزایش یافته و بیانگر آسیب‌پذیری انسان‌ها به فلزات سنگین می‌باشد.

برنامه‌های کاهش منابع آلودگی: در طول دهه‌های ۷۰ و ۸۰ مطالب بسیار زیادی درمورد محتوا، رفتار و سمیت فلزات در لجن فاضلاب شهری روشن گردید. یکی از نتایج این تحقیقات اعمال برنامه‌های کاهش منابع آلودگی بود، که صنایع ملزم گردیدند آلاینده‌ها را قبل از فرستادن آن‌ها به داخل مراکز تصفیه فاضلاب شهری پاک‌سازی کنند. در بسیاری از موارد، بازیافت آلاینده‌های فلزی ارزشمند برای صنایع فی‌الواقع سودمند بود. به‌خاطر این برنامه‌ها لجن فاضلاب شهری بسیار تمیزتر از قبل هستند(جدول ۹-۱۸). توجه داشته باشید که غلظت میانه آلاینده‌های صنعتی سمی(PCB,Cr,Pb,Cd) بین مطالعات سال‌های ۱۹۷۶ و ۱۹۹۰ به مقدار فوق‌العاده زیادی کاهش یافت. ازآن‌جاکه اکثر مس از لوله‌کشی خانه‌ها حاصل می‌شود (فلز مس در مناطق با منابع آب اسیدی مقداری حل می‌شود)، این فلز کمتر تحت تأثیر مقررات کاهش منابع قرار گرفته است.

جدول ۹-۱۸ غلظت میانه آلاینده‌ها در مطالعات لجن فاضلاب در سرتاسر آمریکا در سال ۱۹۷۶و۱۹۹۰ ، در خاک‌های غیرآلوده‌ی کشاورزی وکود گاوی

آلاینده	غلظت میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خاک			
	لجن فاضلاب در مطالعات۱۹۹۰	لجن فاضلاب در مطالعات۱۹۷۶	خاک‌های کشاورزی	مقادیر شاخص در کود گاوی
As	۶	۱۰	-	۴
Cd	۷	۲۶۰	۰/۲	۱
Cr	۴۰	۸۹۰	-	۵۶
Cu	۴۶۳	۸۵۰	۱۸/۵	۶۲
Hg	۴	۵	-	۰/۲
Mo	۱۱	-	-	۱۴
Ni	۲۹	۸۲	۱۸/۲	۲۹
Pb	۱۰۶	۵۰۰	۱۱	۱۶
Zn	۷۲۵	۱۷۴۰	۵۳	۷۱
PCB	۰/۲۱	۹	-	۰

مقررات مصرف لجن فاضلاب در اراضی: هرچه میزان فلزات (و آلاینده‌های آلی)پایین باشد لجن فاضلاب برای استعمال در خاک‌ها به‌میزان بیشتری نسبت به سابق متناسب خواهد بود. امروزه مقدار لجن فاضلاب که می‌تواند در اراضی کشاورزی مصرف شود اغلب به‌وسیله‌ی توان آلودگی نیترات حاصل از نیتروژن موجود در آن محدود می‌گردد. با این حال، مقررات مصرف لجن فاضلاب در اراضی زراعی چنان تنظیم شده است تا مطمئن شویم که غلظت فلز در لجن فاضلاب از استانداردها بیشی نگرفته و مقدار کل فلزات استعمال شده در خاک در طول سال‌ها از حدود حداکثر بار تجمعی که در جدول ۱۰-۱۸ آمده است افزون‌تر نشود. این واقعیت که استانداردهای بار فلز در بین آمریکا و اروپا متفاوت است بیانگر سرشت خطر آلودگی فلزی است که هنوز مورد بحث‌وجدل است.

اثرات سمی حاصل از لجن فاضلاب: عدم اطمینان از سرشت بسیاری از مواد شیمیایی موجود در لجن فاضلاب، و همین‌طور سرشت تجمعی فلزات، احتیاط مداوم را در اجرای مقررات حاکم بر مصرف لجن فاضلاب در اراضی کشاورزی به ما تحمیل می‌کنند. اثر استعمال لجن حاوی فلزات زیاد بر مقدار فلزات سنگین خاک و زندگی کرم‌های خاکی در خاک در جدول ۱۱-۱۸ تشریح شده است. در خاک‌هایی که در آن لجن فاضلاب مصرف شده بود، همچنین در اندام‌های کرم‌های خاکی درحال زیست در این خاک‌ها، بعضی از این عناصر غنی‌تر از اراضی شاهد بود که این عناصر در آن مصرف نشده بودند. باید انتظار غلظت بیشتری را از این عناصر در اندام‌های پرندگان، ماهی‌ها و بسیاری دیگر از جانوران تغذیه‌کننده‌ی کرم‌های خاکی داشته باشیم.

زارعین باید مطمئن باشند که میزان مواد شیمیایی معدنی در لجن فاضلاب چنان بالا نیست که برای گیاهان (امکان برای روی و مس) و یا انسان و دیگر جانوران که این گیاهان را مصرف می‌کنند (نگرانی جدی در مورد Cd,Cr,Pb)سمیت ایجاد کند. در لجن فاضلاب شهری با فلزات اندک به نظر می‌رسد مقادیر استعمال به مقدار کافی برای تأمین نیتروژن موردنیاز که کاملاً سالم باشد (جدول۱۲-۱۸).

جدول ۱۰-۱۸ حدود مجاز فلزات در آلاینده‌های معدنی (فلزات سنگین)در لجن فاضلاب مصرف شده در اراضی کشاورزی

عنصر	غلظت حداکثر در لجن بر حسب mg/kg سازمان حفاظت زیست آمریکا*	میزان بار آلودگی سالانه بر حسب kg/ha/yr سازمان حفاظت زیست آمریکا	بار آلودگی تجمعی kg/ha		
			سازمان حفاظت زیست آمریکا	آلمان	انتاریو
As	۷۵	۲	۴۱	-	۲۸
Cd	۸۵	۱/۹	۳۹	۳/۲	۳/۲
Cr	۳۰۰۰	۱۵۰	۳۰۰۰	۲۰۰	۲۴۰
Cu	۴۳۰۰	۷۵	۱۵۰۰	۱۲۰	۲۰۰
Hg	۵۷	۰/۳۵	۱۷	۲	۱
Mo	۷۵	-	-	-	۸
Ni	۴۲۰	۲۱	۴۲۰	۱۰۰	۶۴
Pb	۸۴۰	۱۵	۳۰۰	۲۰۰	۱۲۰
Se	۱۰۰	۵	۱۰۰	-	۳/۲
Zn	۷۵۰۰	۱۴۰	۲۸۰۰	۴۰۰	۴۴۰

بلع خاک‌ها و لجن فاضلاب یکی از راه‌های در معرض آلودگی قرارگرفتن انسان‌ها و حیوانات است. حیوانات نباید اجازه داده شوند در مراتعی که لجن فاضلاب در آن‌ها مصرف شده است، چرا کنند. مگر آن‌که باران و آبیاری لجن را از روی پوشش برگی شسته باشد. بچه‌ها ممکن است درحال بازی مقداری خاک ببلعند. مقدار قابل‌ملاحظه‌ای از خاک نهایتاً در بعضی منازل تبدیل به گرد و غبار شده و بلع مستقیم خاک و گردوغبار، مخصوصاً از نظر سمیت سرب بسیار خطرناک است.

جدول۱۱-۱۸ اثر مصرف لجن بر میزان فلزات سنگین در خاک و کرم‌های خاکی. به غلظت بالای کادمیم و روی در کرم‌های خاکی توجه شود

عنصر فلزی	عنصر فلز میلی‌گرم/کیلوگرم			
	خاک		کرم‌های خاکی	
	شاهد	مصرف لجن فاضلاب	شاهد	مصرف لجن فاضلاب
Cd	۰/۱	۲/۷	۴/۸	۵۷
Zn	۵۶	۱۳۲	۲۲۸	۴۵۲
Cu	۱۲	۳۹	۱۳	۳۱
Ni	۱۴	۱۹	۱۴	۱۴
Pb	۲۲	۳۱	۱۷	۲۰

* - United States Environmental Protection Agency

جدول ۱۲-۱۸ جذب فلزات به‌وسیله‌ی ذرت بعد از ۱۹ سال کوددادن یک خاک مینه‌سوتا (تیپیک هاپلودول[1]) با لجن فاضلاب پایدار شده به‌وسیله‌ی آهک: توجه کنید که فلزات شیوه‌ی شاخص تمرکز کمتری را در دانه‌ها درمقایسه با برگ‌ها و ساقه نشان می‌دهند. مصرف سالانه‌ی لجن به‌مقدار ۱۰/۵ تن‌درهکتار برای تأمین نیتروژن موردنیاز طراحی گردیده بود. لجن اثر کمی بر میزان فلز نبات داشت، به‌استثنای روی (مقدار آن افزایش یافت اما از دامنه‌ی معمول برای ذرت تجاوز نکرد)

تیمار	جذب mg/kg					
	Zn	Cu	Cd	Pb	Ni	Cr
ساقه						
کود شیمیایی	۱۸	۸/۴	۰/۱۶	۰/۹	۰/۷	۰/۹
لجن فاضلاب	۴۶/۵	۷	۰/۱۸	۰/۸	۰/۶	۱/۴
دانه						
کود شیمیایی	۲۰	۳/۲	۰/۲۹	۰/۴	۰/۴	۰/۲
لجن فاضلاب	۲۶	۳/۲	۰/۳۱	۰/۵	۰/۳	۰/۲
مقدار فلز (تجمعی) مصرف شده در فاضلاب kg/ha	۱۷۵	۱۳۵	۱/۲	۴۹	۴/۹	۱۰۴۵

۹-۱۸ واکنش‌های آلاینده‌های معدنی در خاک‌ها

فلزات سنگین در لجن فاضلاب

نگرانی در مورد تجمع فلزات سنگین ناشی از مصرف زیاد لجن فاضلاب سبب انجام تحقیقاتی در مورد سرنوشت این مواد شیمیایی در خاک شده است. بیشترین توجه به روی، مس، نیکل و کادمیم مبذول گردیده است که معمولاً در مقادیر قابل‌توجهی در لجن فاضلاب وجود دارند. مطالعات نشان داده‌اند که اگر خاک خیلی اسیدی نباشد، این مواد معمولاً در پیوند با اجزای تشکیل‌دهنده‌ی خاک قرار می‌گیرند آن‌ها به آسانی از خاک آبشویی نیافته و بنابراین، به‌آسانی به‌وسیله‌ی گیاه قابل‌استفاده نمی‌باشند. فقط در خاک‌های اسیدی متوسط تا شدید حرکت این مواد از لایه‌ای که در آن لجن استعمال شده است به‌طرف پایین در داخل خاکرخ قابل توجه خواهد بود. نظارت بر اسیدیته خاک و استعمال عاقلانه‌ی آهک از آبشویی آن‌ها به‌داخل آب زیرزمینی ممانعت کرده و می‌تواند جذب به‌وسیله‌ی گیاهان را به‌حداقل برساند.

اشکال موجود در خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب: با استفاده از عصاره‌گیرهای شیمیایی، محققین دریافته‌اند که این فلزات به چهار طریق با بخش جامد خاک همراه می‌باشند (جدول۱۳-۱۸). اول، بخش بسیار کوچکی به‌صورت جذب سطحی و یا قابل‌تعویض می‌باشد که برای گیاهان قابل‌استفاده است. دوم، عناصری که در پیوند با مواد آلی خاک ویا لجن فاضلاب قرار دارند. بخش بزرگی از مس معمولاً در این شکل مشاهده می‌شود، سرب چنان با شدت جذب این مواد نمی‌گردد. عناصر در پیوند با مواد آلی به آسانی قابل‌استفاده برای گیاهان نبوده اما می‌توانند در طول زمان آزاد شوند.

سومین همراهی فلزات سنگین در خاک‌ها پیوند با کربنات‌ها و اکسیدهای آهن و آلومینیوم خاک می‌باشد. عناصر در این اشکال کمتر از اشکال جذب سطحی و یا عناصر در شکل پیوند با مواد آلی قابل استفاده گیاه می‌باشند، به‌خصوص اگر امکان اسیدی‌شدن خاک فراهم نباشد. چهارمین همراهی فلزات سنگین معمولاً به عنوان اشکال باقیمانده[2] شناخته شده است، که شامل سولفیدها و سایر ترکیبات نامحلول می‌باشد که درمقایسه با سایر اشکال عناصر در خاک کمتر قابل‌استفاده‌اند.

خوشبختانه فلزات سنگین مصرف شده درخاک به آسانی به‌وسیله‌ی نباتات جذب نگردیده و به آسانی از خاک آبشویی نمی‌شوند. هرچند عدم تحرک فلزات باین معنی است که درصورت استعمال مکرر لجن فاضلاب آن‌ها در خاک تجمع می‌یابند. باید احتیاط کرد که مقادیر مصرف شده چنان زیاد نباشد که از ظرفیت خاک برای واکنش با یک عنصر خاص فزونی گیرد. به این دلیل است که مقرراتی برای حداکثر تراکم مجاز در هر عنصر برقرار شده است (جدول ۱۰-۱۸ را مشاهده کنید).

---
[1] -typic Hapludolls
[2] -Rersidual forms

جدول ۱۳-۱۸ اشکال ۶ فلز سنگین که درخاک لوم شنی گرینفیلد[1] (لومی درشت، مخلوط، ترمیک تیپیک هاپلوزرالف)که ۴۵ تن درهکتار سالانه برای ۵ سال لجن فاضلاب دریافت داشته است.

اشکال	درصد عناصر در هر شکل					
	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
قابل تبادل / جذب شده	۱	۱	۲	۵	۱	۲
پیوند آلی	۲۰	۵	۳۴	۲۴	۳	۲۸
کربنات‌ها / اکسید آهن	۶۴	۱۹	۳۶	۳۳	۸۵	۳۹
اشکال باقی‌مانده	۱۶	۷۷	۲۹	۴۰	۱۲	۳۱

مواد شیمیایی حاصل از سایر منابع

آرسنیک در خاک باغستان‌ها به‌دنبال سال‌ها استعمال آفت‌کش‌های حاوی آرسنیک تجمع پیدا کرده‌است. ارسنیک در اشکال آنیونی (مثلاً $H_2AsO_4^-$) همانند فسفات‌ها جذب هیدروکسید آهن و آلومینیوم به‌خصوص در خاک‌های اسیدی می‌گردد. به‌رغم ظرفیت اکثر خاک‌ها برای تثبیت ارسنات‌ها، اضافه‌کردن افشان‌های آرسنیکی می‌تواند سبب ایجاد سمیت برای نباتات حساس و کرم‌های خاکی گردد. سمیت آرسنیک می‌تواند با اضافه‌کردن سولفات‌های روی، آهن و آلومینیوم که سبب بی‌حرکت‌نمودن ارسنیک در شکل‌های غیرقابل‌استفاده می‌شوند، کاهش یابد.

سمیت خاک‌ها به‌وسیله‌ی سرب عمدتاً از هوای حاوی سرب دودکش خودروها و رنگ و گردوخاک حاصل از کارهای چوبی با پوشش رنگدانه‌های قدیم سربی حاصل می‌شود. در فاصله‌ی ۱۰۰ متری بزرگراه‌های عمده، نزدیک مراکز شهری و در خاک نزدیک منازل قدیمی سرب بیشترین تراکم را دارد. مقداری سرب در روی پوشش گیاهی رسوب‌یافته و بعضی دیگر مستقیماً به داخل خاک می‌رسد. در هر حال بیشتر سرب به‌صورت کربنات‌ها و سولفیدهای نامحلول و یا در ترکیب با اکسیدهای آهن، آلومینیوم، و منگنز بدون حرکت در خاک باقی می‌مانند (جدول ۱۳-۱۸ را مشاهده کنید). بنابراین، سرب عمدتاً برای گیاهان غیرقابل استفاده بوده اما سبب آسیب رسیدن به بچه‌هایی می‌شود که خاک آلوده را در دهان خود می‌گذارند.

آلودگی خاک به‌وسیله‌ی بُر می‌تواند از آب آبیاری دارای مقادیر زیاد بُر استفاده از کودهای شیمیایی، و یا خاکستر کارخانه‌های مولد برق ناشی گردد. بُر می‌تواند به‌وسیله‌ی ماده‌ی آلی و رس‌ها جذب شود در این حالت نیز، به‌جز در خاک‌های دارای pH بالا برای گیاهان قابل جذب می‌باشد. بُر در خاک‌ها نسبتاً محلول بوده و مقادیر سمی آن، به‌خصوص در خاک‌های شنی اسیدی دچار آبشویی می‌شود. سمیت بُر معمولاً به‌صورت موضعی قلمداد شده و احتمالاً بسیار کم‌اهمیت‌تر از کمبود این عنصر است.

سمیت فلور نیز معمولاً موضعی است. فلور در آب مشروب احشام و بخار حاوی فلوراید در بخارات حاصل از فراوری‌های صنعتی اغلب در حد سمیت می‌باشند. بخارات می‌توانند مستقیماً به‌وسیله‌ی احشام جذب گردیده، و یا بر روی گیاهان مجاور آن‌ها رسوب یابند. اگر فلور به‌وسیله‌ی خاک جذب شود جذب آن برای گیاه محدود می‌گردد. فلور تشکیل شده در خاک‌ها بسیار نامحلول بوده و درصورت تأمین آهک به‌مقدار کافی در خاک، محلولیت آن به کمترین مقدار می‌رسد.

آلودگی جیوه در بستر دریاچه‌ها و اراضی باتلاقی سبب تجمع آن‌ها در حد سمیت برای گونه‌های خاصی از ماهی می‌شود. اشکال غیرمحلول جیوه درخاک‌ها معمولاً برای گیاهان و درنتیجه حیوانات قابل‌استفاده نبوده و به‌وسیله‌ی ریزجانداران خاک به یک شکل آلی (متیل‌مرکوری) تبدیل می‌شوند، متیل‌مرکوری کاملاً محلول بوده و برای جذب گیاهان و حیوانات قابل‌استفاده می‌باشد. با بالارفتن در زنجیره غذایی متیل‌مرکوری در بافت‌های چربی تجمع می‌یابد تا این‌که مقدار آن در بدن ماهی به‌حدی می‌رسد که برای انسان دارای سمیت می‌گردد و این نشان می‌دهد که چگونه واکنش‌ها در خاک می‌توانند بر مسمومیت انسان‌ها تأثیر بگذارد.

۱۰-۱۸ جلوگیری و حذف آلودگی عناصر شیمیایی معدنی

سه روش اولیه برای کاهش آلودگی خاک به‌وسیله‌ی ترکیبات سمی معدنی عبارتند از :

(۱) حذف و یا کاهش شدید مصرف مواد سمی در خاک

[1] -Greenfield Sandy loam(Coarse loamy, Mixed, Thermic Typic Haploxeralfs)

(۲) بی‌حرکت‌نمودن مواد سمی به‌وسیله‌ی مدیریت خاک برای جلوگیری از حرکت آن به داخل غذا، و منابع آب

(۳) درصورت آلودگی شدید، حذف مواد سمی به‌وسیله‌ی پاک‌کردن شیمیایی، فیزیکی و زیستی

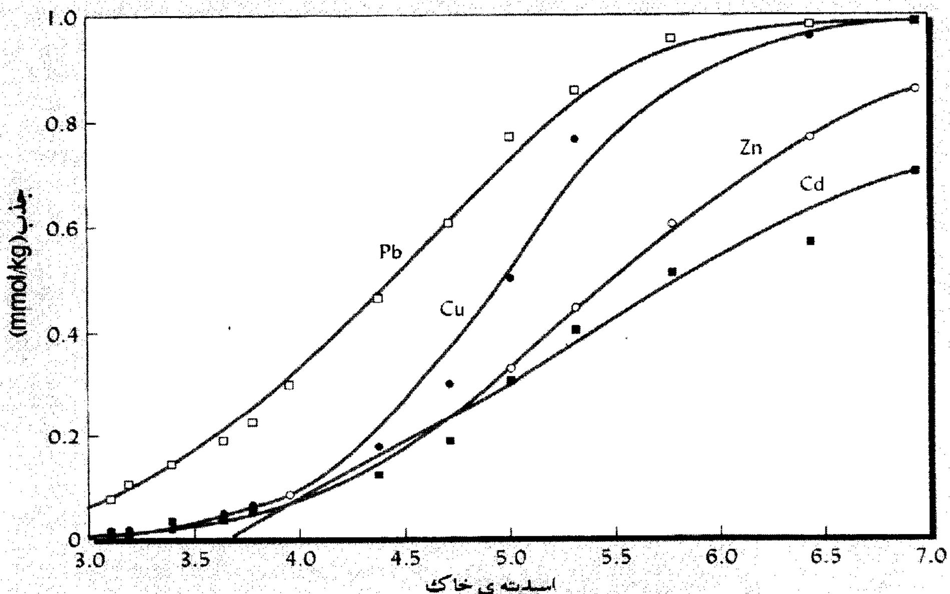
کاهش استعمال در خاک

اولین روش نیازمند اقداماتی برای کاهش آلودگی هوا از فعالیت کارخانه‌ها و دودکش خودروها و بارکش‌ها می‌باشد. سیاستمداران باید خاک را یک منبع طبیعی مهم دانسته که ممکن است در صورت عدم ممانعت از آلودگی ناشی از اضافه‌کردن تصادفی سموم معدنی دچار خسارت گردد. همین‌طور، باید کاهش منطقی در استفاده آگاهانه مواد سمی از طریق آفت‌کش‌ها، کودهای شیمیایی و آب آبیاری و پسماند جامد به‌عمل آید.

از حرکت بازداشتن مواد سمی

مدیریت خاک و آب می‌تواند در کاهش چرخه‌ی مداوم عناصر معدنی سمی مؤثر باشد. این امر عمدتاً با نگهداری عناصر غذایی در خاک و کاهش جذب آن‌ها به‌وسیله‌ی گیاهان انجام می‌شود، خاک به مقصد نهایی مواد سمی تبدیل شده و بنابراین، با از تحرک بازداشتن مواد سمی چرخه خاک- گیاه- حیوان (انسان) را که سم‌ها از طریق آن اثر خود را اعمال می‌کنند، قطع می‌کند. برای مثال، بسیاری از این عناصر در صورت نگهداری pH نزدیک خنثی و یا بالاتر از آن به شکل کم‌تحرک با قابلیت استفاده کم باقی خواهند ماند(شکل۱۳-۱۸). آهک‌دادن خاک‌های خیلی اسیدی سبب تسریع در عدم تحرک عناصر سمی خواهد شد. بنابراین، در مقررات الزامی است که pH اراضی که در آن‌ها لجن فاضلاب استعمال شده است در حدود ۶/۵ و یا بالاتر نگهداری شود.

زه‌کشی خاک‌های مرطوب نیز باید سودمند باشد، زیرا اشکال اکسیدشده‌ی چند عنصر سمی درمقایسه با اشکال احیا شده آن کمتر محلول و قابل‌استفاده برای جذب گیاه است. هرچند عکس این قضیه در مورد کرُم، که عمدتاً در شکل Cr^{3+} و Cr^{6+} یافت می‌شوند صادق می‌باشد. کرُم ۶ ظرفیتی، ترکیباتی ایجاد می‌کند که در دامنه زیادی از pH فعال بوده و برای انسان بسیار سمی است. کرُم ۳ ظرفیتی، تشکیل اسید و هیدروکسید می‌دهد که به‌استثنای خاک‌های خیلی اسیدی کاملاً بدون تحرک می‌باشند. بنابراین، احیاء Cr^{6+} به Cr^{3+} در خاک‌های آلوده به کرم مطلوب است. خوشبختانه، بخش فعال ماده‌ی آلی خاک در احیا کرم بسیار مؤثر بوده به‌نظر نمی‌رسد Cr^{3+} به محض تشکیل اکسیده شود(شکل ۱۴-۱۸).



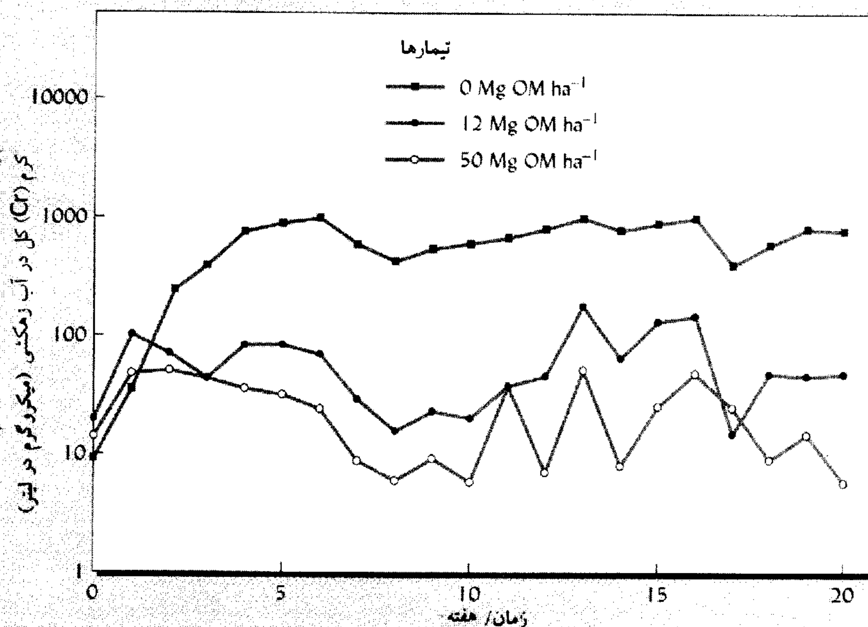
شکل ۱۳-۱۸ اثر اسیدیته خاک بر جذب چهار فلز سنگین. نگهداری pH نزدیک خنثی سبب بالاترین جذب سطحی هر یک از این عناصر فلزی به‌خصوص مس و سرب خواهد شد. خاک تیپیک پلودولت[1] بوده است.

---

[1] -Typic Paleudult

کاربرد فسفات به‌مقدار زیاد قابلیت استفاده بعضی از کاتیون‌های فلزی را کاهش داده اما ممکن‌است اثر عکس بر آرسنیک که در شکل آنیونی یافت می‌شود، داشته باشد. آبشویی ممکن‌است در حذف بر اضافی مؤثر باشد، گرچه حرکت مواد سمی از خاک به آب ممکن‌است دارای منفعت واقعی نباشد.

در انتخاب گیاهان برای کشت در خاک‌های آلوده با فلزات باید احتیاط لازم به‌عمل آید. معمولاً گیاهان مقدار بیشتری از فلزات را به برگ‌های خود درمقایسه با میوه و بذر انتقال می‌دهند (جدول ۱۶-۱۸ را مشاهده کنید). بنابراین، بالاترین خطر آلودگی در زنجیره غذایی در سبزی‌های برگی مانند کاهو و اسفناج، و یا گیاهان علوفه‌ای خورده‌شده به‌وسیله‌ی احشام وجود دارد.



شکل ۱۴-۱۸ اثر افزودن کود گاوی خشک شده (OM) بر روی کرم در زهاب از یک خاک آلوده به کرم. اکسایش کود دامی سبب احیای Cr^{6+} متحرک به Cr^{3+} نسبتاً غیرمتحرک شد. به مقیاس لگاریتمی Cr در آب توجه کنید. خاک بافت درشت تیپیک توری پسامنت[1] در کالیفرنیا بود.

پالایش زیستی به‌وسیله‌ی گیاهان دارای فوق تراکم فلزات[2]

گیاهان خاص که در خاک‌های دارای مقادیر خیلی زیاد فلزات به‌طور طبیعی، تحول یافته‌اند قادرند سبب تمرکز غلظت فوق‌العاده زیاد عناصر فلزی، بدون هرگونه اثرات مسمومیت درخود گردند گیاهانی یافت شده‌اند که بیشتر از ۲۰۰۰۰ میلی‌گرم نیکل، ۴۰۰۰۰ میلی‌گرم روی و ۱۰۰۰ میلی‌گرم کادمیم را در هر کیلوگرم از وزن خشک خود تمرکز می‌دهند. درحالی که این گیاهان با فوق تراکم فلزی دارای خطرات خیلی شدیدی برای سلامتی درصورت خورده‌شدن به‌وسیله‌ی انسان و دام می‌باشند، سبب تسهیل یک نوع پاک‌سازی در خاک‌های آلوده با فلزات می‌شوند.

اگر ژنوتیپ‌هایی از این گیاهان با قدرت رشد زیاد یافت گردند، ممکن‌است از آن‌ها برای جدانمودن فلزات از خاک‌های آلوده استفاده کرد. برای مثال، گیاهان متعددی از جنس **Thlaspi** در خاک‌های آلوده ناشی از بخارات ذوب فلزات کشت شده‌اند (شکل ۱۵-۱۸). این خاک‌ها چنان آلوده شده‌اند که درواقع به‌صورت بایر می‌باشند. با تجمع بیش از ۳۰۰۰۰ میلی‌گرم روی در هر کیلوگرم وزن (حدود ۳ درصد) گیاهان **Thlaspi** که در این خاک‌ها کشت شده‌اند می‌توانند پس از برداشت مقادیر زیادی از فلزات در خاک درو شوند. اندام گیاهی چنان غلظت فلزی پیدا کرده است که می‌تواند به‌صورت مخزنی برای استخراج فلز به‌کار رود. این و دیگر سازوکارهای پالایش زیستی برای فلزات (مانند احیای زیستی کرم و سلنیم که قبلاً بحث گردید) برای پاک‌کردن خاک‌های خیلی آلوده بدون نیاز به حفاری‌های گران و

[1] - Torripsamments
[2] - Metal Hyperaccumulating Plants

تخریب‌کننده و روش‌های آبشویی خاک بسیار امیدبخش می‌باشند. سازوکارهای توارثی و مهندسی برای معرفی گیاهان پرمحصول با فوق تراکم فلزی، که بتوانند مقادیر زیادی از این فلزات سنگین آلاینده را از خاک خارج کنند مورد استفاده قرار گرفته است. برای نمونه تغییرات شدید توارثی در تجمع فلزات سنگین به‌وسیله‌ی نژادهای مختلف خردل آلپی[1] توان لازم را برای تولید گیاهان جمع‌کننده‌ی اصلاح شده ارائه نموده است. همچنین تحقیقاتی برای جای‌گذاری ژن‌های مسوول تجمع مواد آلاینده در سایر محصولات پر تولید مانند کُلزا[2] و خردل هندی[3] در حال انجام است.

ترکیبی از کیلات‌ها و پاک‌سازی گیاهی برای جداسازی سرب از خاک‌های آلوده به‌کار رفته است. این عنصر که به‌مقدار ناچیزی برای گیاهان قابل استفاده است، با کانی‌ها و ماده‌ی آلی به‌شدت وارد پیوند می‌شود. کیلات‌ها سبب حل‌شدن سرب، و گیاهان مانند خردل هندی برای جذب و جداسازی آن مورد استفاده قرار می‌گیرند.



شکل ۱۵-۱۸ *Thlapsi caerulescens* یک گیاه با فوق تجمع کادمیم و روی که در خاک‌های آلوده‌ی ذوب فلزات در پالمرتون پنسیلوانیا می‌روید. گزارش شده است که این نبات تا۴ درصد روی را در اندام‌های خود (بر اساس وزن خشک) جمع می‌کند. تحقیقات با چنین گیاهان با هدف تکامل فناوری‌ها برای جداسازی زیستی و بازیافت فلزات از خاک‌های خیلی آلوده در حال انجام است.

۱۱-۱۸ مراکز دفن زباله

دیدار از چاله‌های دفن زباله محلی هرکس را به اسراف موجود در جوامع امروزی متقاعد می‌سازد. در آمریکا ۲۵۰ میلیون تن زباله‌های شهری هرسال به‌وسیله‌ی مردم ایجاد می‌شود. اکثر این مواد زائد (۷۰ درصد) دارای سرشت آلی بوده و بیشتر شامل کاغذ، مقوا و پس‌مانده‌های مزارع (علف، برگ‌ها و بقایای هرس درختان) می‌باشند، ۳۰ درصد بقیه عمدتاً شامل مواد غیرقابل تجزیه‌ی زیستی مانند شیشه، فلزات و پلاستیک است. هم‌اکنون به‌رغم ارتقای تلاش‌های بازچرخ مواد، بخش اعظم این مواد هنوز در داخل زمین دفن می‌شوند (شکل ۱۶– ۱۸).

مسأله‌ی ضایعات جامد

ما می‌دانیم که کل مسأله دفع ضایعات می‌تواند در مرحله اول با ایجاد ضایعات کمتر به مقدار قابل‌ملاحظه‌ای کاهش یابد. مرحله‌ی دوم امکان حذف اکثر مشکلات همراه با دفع ضایعات با دو روش ساده می‌باشد: (۱)نگهداری فلزات، شیشه پلاستیک و کاغذ به‌طور جداگانه در منازل برای سهولت بازچرخ، و (۲)کمپوست‌کردن ضایعات مزارع، ضایعات خوراکی و بعضی از محصولات کاغذی می‌باشد. محصولات کمپوست‌شده از تعدادی ضایعات شهری به‌طور موفقیت‌آمیزی به‌عنوان مواد اصلاح‌کننده‌ی سودمند مصرف می‌شود (فصل ۷-۱۶ را مشاهده کنید). بخش کوچکی از ضایعات خطرناک باقی‌مانده می‌توانند بعداً رفع سمیت شده و یا متراکم گردیده و از تحرک باز بمانند.

---

[1] -Alpine pennycress
[2] -Canola
[3] -Indian mustard

واقعیت کنونی این‌است که اکثر زباله‌های جامد شهری در خاک دفن شده و احتمالاً تا چندسال آینده نیز به‌همین منوال دفع گردنـد. در گذشته، زباله‌ها را در چاله‌های بازریخته و اغلب آتش می‌زدند. واژه‌ی چاله زباله به‌این خاطر به‌وجود آمد که زباله‌ها اکثراً در اراضی پست ماندابی تل‌انبار می‌شد، به‌طوری‌که نهایتاً تجمع آن‌ها سبب پرشدن اراضی پست و ایجاد مناطق مرتفع برای استفاده‌هایی مانند بوستان شهری و سایر امکانات میگردید. استقرار چاله‌های زباله در اراضی مرطوب دیگر روش قابل قبولی نیست.

دو نوع اصلی طراحی چاله‌های زباله

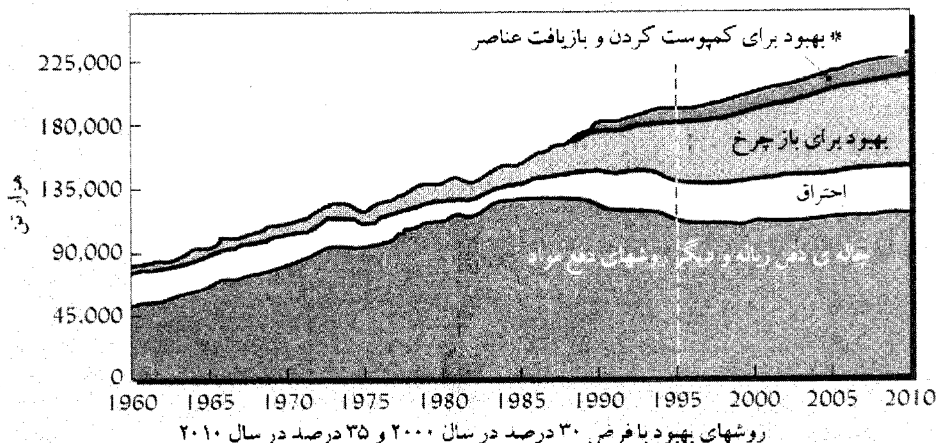
هر چند طرح چاله زباله با توجه به خصوصیات محل و نوع زباله متفاوت می‌باشد، دو نوع اصلی چالـه زبالـه قابـل تشـخیص اسـت (شکل۱۷-۱۸) که عبارتند از: (۱) چاله‌های دفع زباله با کاهش طبیعی آلودگی و یا بدون امنیت، و (۲) چاله دفن زباله محبوس و یـا دارای امنیت، ابتدا چهره‌های اصلی هر یک را به اختصار شرح می‌دهیم.

چاله‌های زباله با کاهش آلودگی

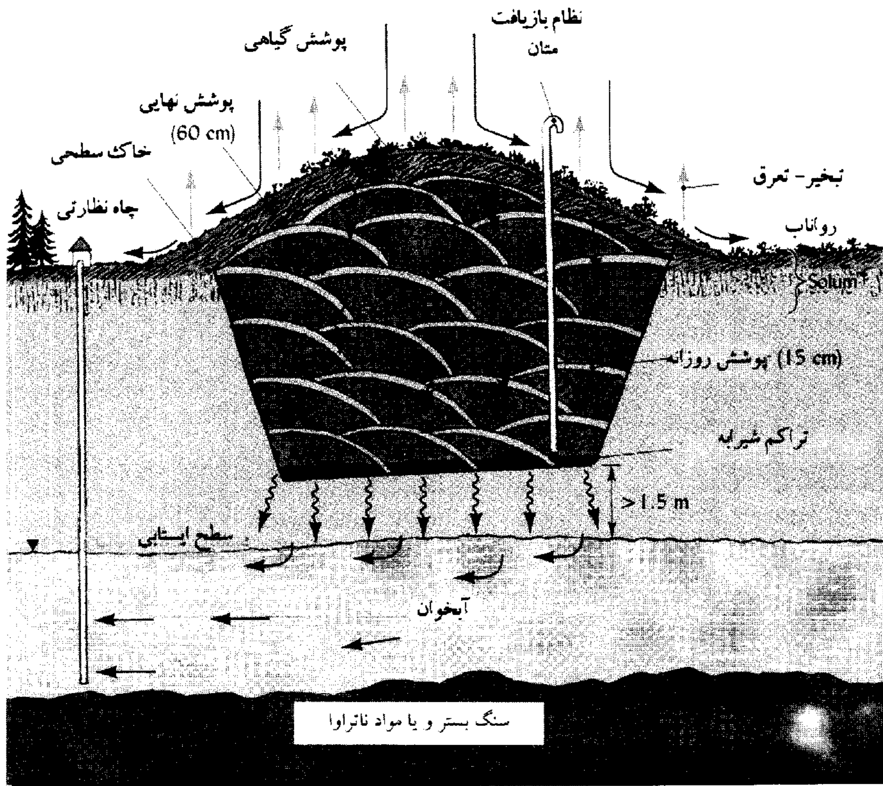
هدف این چاله‌های زباله نگهداری زباله‌های بی‌خطر شهری در یک حالت بهداشتی و جلوگیری از پخش‌شدن آن‌ها بـه‌وسـیله‌ی بـاد و حیوانات، و نهایتاً پوشاندن آن‌ها به‌مقدار کافی برای ایجاد پوشش گیاهی دوباره و استفاده مجدد از منطقه می‌باشد. به مقداری از آب بـاران اجازه داده می‌شود که از داخل زباله فرونشست داشته و به آب زیرزمینی برسد. فرایند طبیعی وابسته به کاهش آلودگی شیرابه قبل از رسیدن آن به آب زیرزمینی است. خاک‌ها در این کاهش آلودگی طبیعی ازطریق فیلترکردن فیزیکـی، جـذب، تجزیـه زیسـتی و ترسـیب شـیمیایی نقش‌های عمده‌ای ایفا می‌کنند (جدول ۱۴-۱۸).

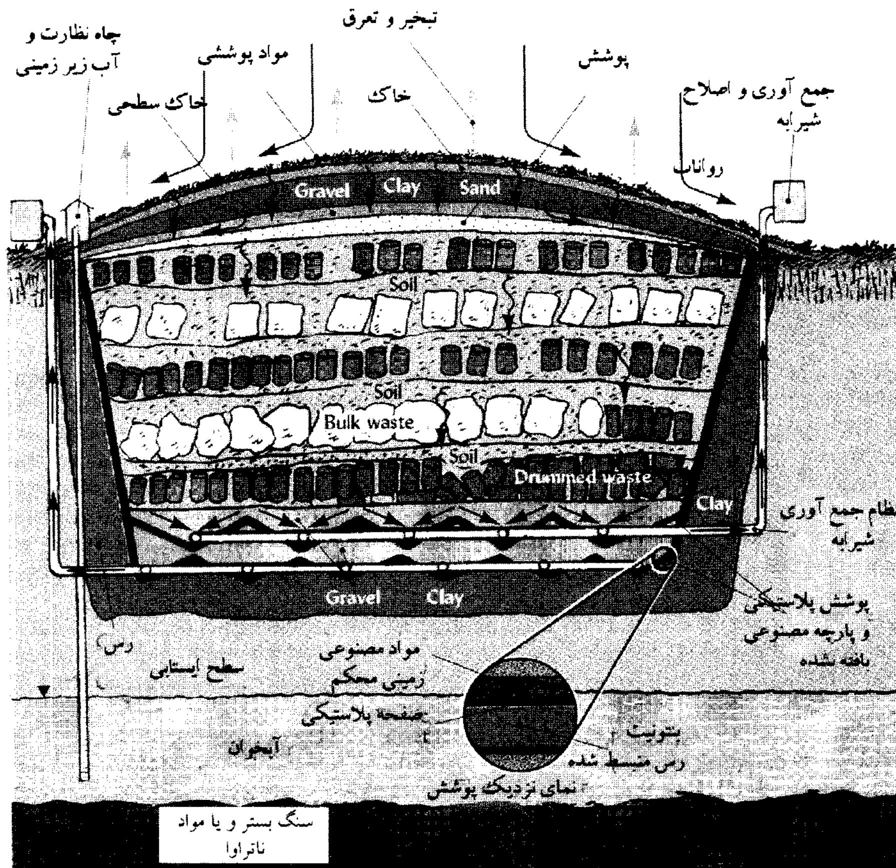
نیازهای خاک: پیداکردن محلی با خصوصیات خاک مناسب برای این‌نوع چاله‌ی زباله اساسی است. حداقل ۱/۵متر خاک باید بـین کـف چاله و بالاترین سطح آب زیرزمینی وجود داشته باشد. این لایه خاک باید از تراوایی متوسطی برخوردار باشد. چه، درصورت تراوایی بسیار (شنی،سنگ‌ریزه‌ای و یا با ساختمان خوب) شیرابه امکان می‌یابد که چنان با سرعت از خاکرخ عبورکند که کاهش آلودگی انـدکی صـورت پذیرد. خاک باید ظرفیت تبادل کاتیونی کافی برای جذب کاتیون‌ها ($Ni^{2+}, K^{+}, NH_4^{+}, Cd^{2+}, Na^{+}$ و سایر کـاتیون‌هـا)، کـه از زبالـه آزاد می‌شوند داشته باشد. اگر خاک ناتراوا باشد، شیرابه تراکم پیدا کرده و از چاله سرریز کرده، و به‌طور جانبی نشت پیدا خواهد کرد.

محل انتخاب‌شده برای چاله دفن زباله با کاهش آلودگی طبیعی باید دارای خاک‌های مناسب برای پوشش روزانه و پوشش نهـایی زبالـه باشد (شکل۱۸-۱۸ الف). در پایان هرروز کاری، زباله‌ها باید به‌وسیله‌ی یک لایه خاک نسبتاً نفوذناپذیر پوشیده گردند. پوشش نهایی چالـه زباله از پوشش روزانه بسیار ستبرتر، و شامل یک لایه ضخیم خاک بافت ریز با نفوذپذیری کم در زیر یک لایه نازکتر خاک سـطحی لـومی می‌باشد. لایه نفوذناپذیر برای به‌حداقل‌رساندن فرونشست آب به‌داخل چاله‌ی زباله و خاک سطحی برای ایجاد پوشش گیاهی مناسب اسـت که از فرسایش خاک جلوگیری و آب تنها ازطریق تبخیروتعرق زیاد مصرف می‌شود. کل نظام برای محدودکردن مقدار آب نافذ درداخل زباله طراحی می‌شود، به‌طوری‌که مقدار شیرابه آلوده ایجادشده از ظرفیت کاهش آلودگی خاک در فاصله‌ی کف چاله و آب زیرزمینی بیشی نگیرد.



شکل۱۶-۱۸روند تاریخی و پیش‌بینی‌شده درمدیریت زباله‌های جامدشهری درآمریکا. خاک‌ها نقش اصلی را درکمپوست‌کردن و انتخاب نوع چاله‌ی زباله دارند.





شکل ۱۷-۱۸ دو نوع چاله‌ی زباله. چاله‌ی زباله با کاهش طبیعی آلودگی (بالا) عمدتاً وابسته به فرایندهای خاک برای کاهش آلودگی در شیرابه، قبل از رسیدن آن‌ها به آب زیرزمینی است. چاله‌های زباله محصور (پایین) برای ضایعات خیلی خطرناک و یا وقتی شرایط خاک برای چاله نوع اول مناسب نباشد مورد استفاده قرار می‌گیرد. این چاله برای جمع‌آوری کلیه شیرابه‌ها و پمپ‌کردن آن به بیرون برای ذخیره و اصلاح آن طراحی شده است.

جدول ۱۴-۸ فهرست جزیی آلاینده‌های آلی و معدنی در شیرابه‌ی اصلاح‌نشده‌ی چاله‌ی زباله‌ی جامد شهری شهر گلف (انتاریو کانادا). منابع شاخص این آلاینده‌ها در چاله‌ی زباله و سازوکاری که به‌وسیله‌ی آن خاک می‌تواند آلودگی را کاهش دهد نیز ارائه شده است. اگرچه شیرابه‌ها در بین چاله‌های زباله بسیارمتفاوتند آلاینده‌ها دراین‌صورت نماینده‌ی خوبی می‌باشند.

مواد شیمیایی	غلظت میکروگرم درلیتر	منابع معمول	سازوکار کاهش آلودگی
مواد آلی			
COD[1] برای مواد آلی عمومی	۱۴۳۰۰	زباله‌های پوسیده مزارع، کاغذ و آشغال	تجزیه زیستی
بنزن	۲۰	چسب‌ها،دافع بوی بد[2]، حلال‌ها پاک‌کننده‌ی کوره	تصفیه‌کردن، تجزیه زیستی و تولید متان
دی کلرواتان	۴۰۶	چسب‌ها، و پاک‌کننده روغن	تجزیه زیستی و رقیق‌کردن
تولئن	۱۶۵	چسب‌ها، پاک‌کننده نقاشی، شامپوی شوره بر و پاک کننده کاربراتور	تجزیه زیستی و رقیق‌کردن
گزیلن	۲۱۲	مواد افزودنی در نفت و سوخت، نقاشی و پاک‌کننده‌ی کاربراتور	تجزیه زیستی و رقیق‌کردن
فلزات			
نیکل	۰/۳۸	باطری‌ها، الکترودها و شمع ماشین	جذب و ترسیب
کرم	۰/۱۴	پاک کننده، نقاشی، لینولئوم، باطری	جذب، ترسیب و تبادل
کادمیم	۰/۰۳	نقاشی، باطری و پلاستیک	جذب و ترسیب

چاله‌های محبوس و یا دارای ایمنی

ساخت نوع دوم چاله‌های دفع زباله بسیار پیچیده‌تر و گران‌تر می‌باشد، اما ساخت آن بسیار کمتر وابسته به یافتن خاک‌های مناسب است. به‌جای وابستگی به خاک برای پاک کردن آلودگی قبل از رسیدن شیرابه به آب زیرزمینی، طراحی این چاله‌های محبوس به‌منظور نگهداری تمام شیرابه می‌باشد. برای کامل‌کردن نگهداری شیرابه یک ویا چند لایه‌ی غیرقابل‌نفوذ در کناره‌ها و کف چاله‌ی زباله ایجاد می‌شود. این لایه‌ها معمولاً از رس قابل انبساط (برای نمونه بنتونیت) ساخته می‌شوند که با مرطوب‌شدن انبساط‌یافته و نفوذپذیری بسیار کند می‌شود. ژئوممبران‌های[3] پلاستیکی آب‌بند و پارچه‌های مصنوعی بافته نشده سفت (ژئوتکس تایل[4] (نیز در ساختن این لایه به‌کار می‌روند. یک لایه سنگ‌ریزه و یا شن برای ممانعت لایه از سوراخ‌شدن تصادفی، ویک سامانه از لوله‌های مشبک و پمپ برای جمع‌آوری شیرابه از کف چاله‌ی زباله نیز تعبیه می‌شوند. شیرابه جمع‌آوری‌شده در محل ویا خارج از آن اصلاح می‌شود. نکته‌ی اصلی درمورد خاک نیاز به منابع مناسب شن و سنگ‌ریزه، مواد رسی برای ایجاد پوشش نهایی و خاک سطحی برای ایجاد پوشش محافظ می‌باشد(شکل ۱۸-۱۸ب را مشاهده کنید).

اثرات زیست‌محیطی چاله‌های زباله

امروزه مقررات لازم می‌سازند که زباله‌ها در چاله‌های با موقعیت و طرح بهداشتی دقیق دفن گردند. درنتیجه تعداد چاله‌های دفع زباله در آمریکا از ۱۶۰۰۰ در سال ۱۹۷۶ به کمتر از ۲۵۰۰ عدد در سال ۱۹۹۸ کاهش یافته است. نگرانی عمده درمورد چاله‌های زباله آلودگی بالقوه‌ی آب ناشی از آب باران است که از داخل زباله‌ها به عمق نفوذ یافته، و تمام آلاینده‌های آلی و معدنی را حل و با خود انتقال می‌دهد (جدول ۱۴-۱۸ را مشاهده کنید). علاوه بر نیاز اکسیژن ماده‌ی آلی به‌طور عام، بسیاری از آلاینده‌ها در شیرابه چاله‌ی زباله بسیار سمی بوده و درصورت رسیدن آن‌ها به آب زیرزمینی زیر چاله‌ی زباله یک مشکل جدی آلودگی ایجاد می‌کنند.

علاوه بر کارایی استفاده از منابع، اجتناب از مسائل خاص مدیریت چاله‌های دفن زباله دلیل دیگری است که اجزای آلی آشغال (عمدتاً کاغذ، سرشاخه هرس‌شده و ضایعات غذایی) باید برای تولید مواد اصلاحی خاک به‌جای دفن‌شدن، کمپوست گردند. اول، بعد از آن‌که این مواد در چاله‌ی زباله‌ی پرشده تجزیه شدند، بخشی از حجم خود را ازدست داده و سبب نشست چاله و فرونشینی سطح آن می‌شود. این ناپایداری فیزیکی استفاده از اراضی را پس از اتمام چاله‌ی زباله بسیار محدود می‌کند. دوم، تجزیه‌ی زباله‌ی آلی سبب ایجاد محصولات

---

[1] -Chemical Oxygen Demand
[2] -Deodorants
[3] -Geomembrane
[4] -Geotextile

محلول و گازی نامطلوب می‌شود. در طول یک هفته تجزیه، اکسیژن موجود در چاله‌ی زباله مصرف کرده و سوخت‌وساز غیرهوازی صورت می‌گیرد که سبب تبدیل سلولز موجود در ضایعات کاغذ به اسید بوتیریک، اسید پروپیونیک و سایر اسیدهای آلی فرار و همین‌طور اکسیژن و گازکربنیک می‌شود. پس از یک ماه و یا بیشتر، باکتری‌های تولید کننده متان غلبه پیدا کرده، و برای چندین سال، و یا حتی چندین ده سال یک مخلوط گازی ۳/[۱] با گاز کربنیک و۳/[۲] متان (گاز چاله‌ی زباله نامیده می‌شود)تولید می‌شود.

تولید گاز متان براثر تجزیه‌ی غیرهوازی ضایعات آلی در یک چاله می‌تواند خطر خیلی جدی انفجار این گاز را درصورت عدم جمع‌آوری آن و سوزاندن آن به‌عنوان منبع انرژی (شکل ۱۸-۱۸را مشاهده کنید) فراهم کند. وقتی خاک نسبتاً قابل نفوذ است ممکن‌است گاز به‌داخل زیرزمین‌ها تا چند صد متر دور از چاله دفن زباله انتشار یابد. تعدادی از انفجارات مرگ‌آور براثر این فرایند به‌وجود آمده است. تجزیه‌ی غیرهوازی در چاله‌های زباله سبب نشر سایر گازهای خطرناک نیز می‌شود، که اثرات آن‌ها کمتر شناخته شده می‌باشد.

۱۸-۱۲ خاک به‌عنوان محلی برای دفع ضایعات آلی

در آمریکا، سالانه حدود ۲۵۰ میلیون تن ضایعات خانگی هر سال ایجاد می‌شود به این رقم باید حدود ۲ بیلیون تن از ضایعات حیوانات اهلی و همین‌طور میلیون‌ها تن از ضایعات آلی حاصل از کارخانه‌های فرآوری پارچه و غذا و فعالیت‌های صنعتی را اضافه کرد.

از نظر زیست‌محیطی دیگر قابل قبول نیست که این ضایعات را با تل‌انبارنمودن در آبراهه‌ها و اقیانوس‌ها و یا با سوزاندن آن‌ها و آزادشدن محصولات حاصل از واکنش به نیوار دفع کنیم. خاک یک مقصد جایگزین را برای دفع آن‌ها عرضه می‌کند، که به‌طور بسیار گسترده مورداستفاده است. این ضایعات آلی سبب بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شده و می‌توانند عناصر غذایی را برای افزایش رشد گیاه تهیه کنند. این اثرات مثبت احتمالاً سبب مصرف هرچه بیشتر این فضولات در خاک می‌شود. درضمن، وقتی فضولات در مقادیر اضافی استعمال می‌شوند توان تولید خاک براثر تراکم نمک‌ها کاهش یافته و یا ممکن‌است آلودگی خاک و آب صورت پذیرد.

۱۸-۱۳ مواد پرتوزا در خاک

آزمایش‌های شکافت هسته‌ای به انضمام سلاح‌های اتمی مورد آزمایش و نیروگاه‌های برق اتمی منبع دیگری از آلودگی خاک را فراهم می‌سازند. به‌مواد پرتوزای طبیعی خاک (مانند ^{14}C،^{87}Rb،^{40}K) تعدادی از محصولات شکافت هسته‌ای نیز اضافه شده است هرچند فقط ۲ ماده‌ی پرتوزا دارای عمر طولانی کافی دارای اهمیت در خاک می‌باشند استرانسیوم ۹۰ (با نیمه‌عمر ۲۸سال)و سزیم۱۳۷(با نیمه‌عمر ۳۰سال). میزان متوسط این مواد پرتوزا در آمریکا حدود ۳۸۸میلی‌کوری در کیلومترمربع ($^{mC}/_{km^2}$)برای استرانسیوم و ۶۲۰ میلی‌کوری در کیلومترمربع برای سزیم می‌باشد. رقم مشابه برای مواد پرتوزای طبیعی($^{mC}/_{km^2}$) k-40 ۵۱۸۰۰ می‌باشد. این میزان‌های عادی مواد پرتوزای حاصل از شکافت چندان زیاد نیست که خطرناک باشد. حتی در اوج آزمایش‌های هسته‌ای خاک‌ها باعث بالارفتن قابل‌توجه این مواد پرتوزا در زنجیره غذایی نشدند. ریزش از نیوار برروی پوشش گیاهی، منبع عمده‌ی مواد پرتوزا در زنجیره‌ی غذایی می‌باشد. بنابراین، فقط در حوادث مصیبت‌بار تولید محصولات شکافت هسته، میزان‌های سمی ^{90}Sr و ^{137}Cs قابل‌انتظار است. خوشبختانه، تحقیقات قابل‌ملاحظه‌ای بر رفتار این دو ماده‌ی پرتوزا در خاک انجام گرفته است.

استرانسیوم-۹۰

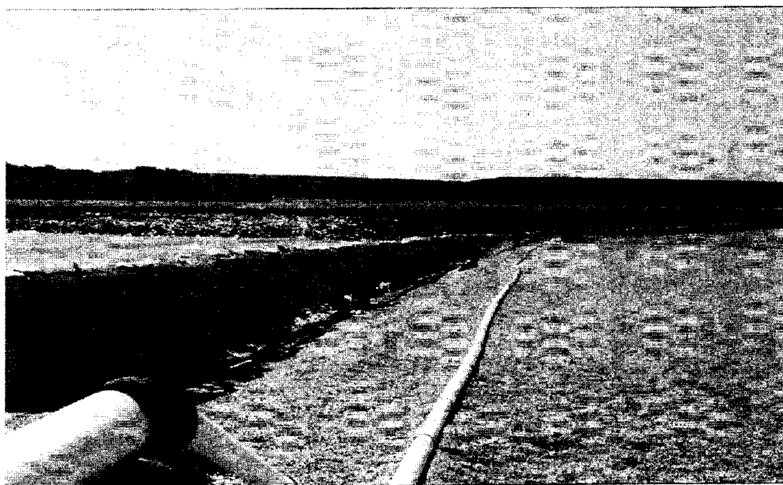
استرانسیوم ۹۰ بسیار همانند کلسیم در خاک‌ها عمل می‌کند. زیرا از نظر شیمیایی بسیار وابسته به آن است. این ماده‌ی پرتوزا به‌صورت اشکال محلول از نیوار وارد خاک شده و به‌سرعت جذب بخش کلوییدی آلی و معدنی می‌شود. این عنصر در تبادل کاتیونی قرار گرفته و همانند کلسیم برای نباتات قابل جذب است. این امکان که استرانسیوم در همان واکنش‌های گیاهی همانند کلسیم شرکت داشته باشد، احتمالاً می‌تواند دلیل این واقعیت باشد که با وجود مقادیر زیاد کلسیم در خاک، تمایل خاک برای جذب استرانسیوم کاهش می‌یابد.

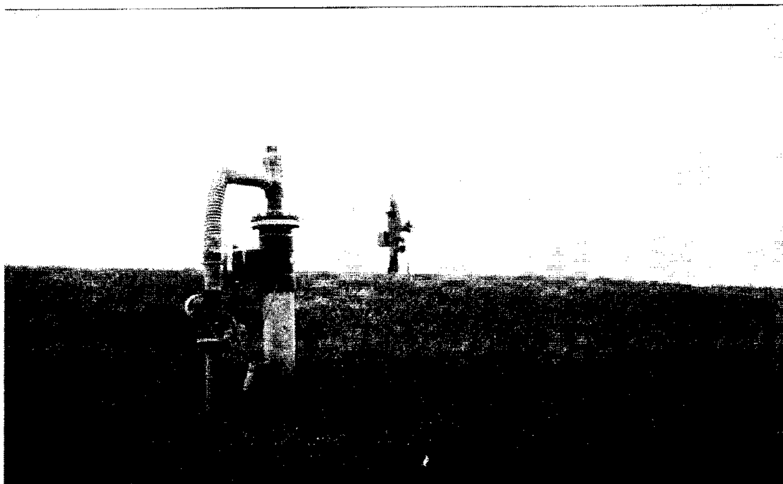
پژوهش‌هایی برای بهره‌گرفتن از جذب گیاهی مواد پرتوزا در عملیات پاک‌سازی گیاهی[1] در دست انجام است. گیاهانی مانند آفتاب‌گردان برای جداسازی سزیم -۱۳۷ و استرانسیوم -۹۰ از یک چاله‌ی نزدیک محل فاجعه‌ی چرنوبیل در کشور اُکراین مورداستفاده است. از خردل‌های هندی نیز در همان نزدیکی‌ها برای پاک‌سازی این آلاینده‌های پرتوزا استفاده می‌شود.

---

[1] - Phytoremediation







شکل۱۸-۱۸ فناوری نوین چاله‌های زباله و فرایندهای خاک.(شکل بالا) یک بولدوزور سبب تراکم و پوشیده‌شدن زباله در یک چاله‌ی کاهش طبیعی آلودگی در خاک‌های عمیق با نفوذپذیری خوب. مواد خاکی برای پوشش هر روز در زمینه‌ی عکس دیده می‌شود. (مرکز)یک غشاء پوششی سیاه که با سنگریزه‌ی سفید نخودی پوشش یافته و یک لوله جمع‌آوری شیرابه در یک واحد جدید در یک چاله‌ی زباله مسدود درحال تهیه است. تپه‌های کوتاه در زمینه عکس عبارت از واحدهای تکمیل شده است که از یک پوشش گیاهی نهایی برخوردار است.(عکس زیر) چاه‌های گاز، گاز متان را از تجزیه غیرهوازی در یک واحد چاله‌ی زباله تکمیل شده جمع‌آوری می‌کنند. متان برای سوخت توربین‌هایی که برق را برای عملیات دفن زباله تأمین می‌کنند مصرف شده و یا به شرکت‌های محلی تأمین برق فروخته می‌شود.

سزیم ۱۳۷

به‌رغم ارتباط سزیم با پتاسیم، سزیم در بسیاری از خاک‌ها کمتر قابل استفاده است. این ظاهراً به آن دلیل است که سزیم به‌وسیله‌ی ورمی‌کولیت و دیگر کانی‌های رسی لایه‌لایه‌ای تثبیت می‌شود. ماده‌ی پرتوزای تثبیت‌شده به‌صورت غیرقابل تبادل بوده و بسیاری از آن همانند پتاسیم در بین لایه‌های رس تثبیت می‌گردد. جذب سزیم به‌وسیله‌ی گیاه در این خاک‌ها بسیار محدود است. هنگامی ورمی‌کولیت و رس‌های دیگر مربوط به این گروه غایب باشند، مانند بعضی از خاک‌های گرمسیری، جذب سزیم بسیار سریع‌تر است. در هر حال خاک تمایل دارد که حرکت سزیم را به‌داخل زنجیره‌ی غذایی حیوانات و انسان کاهش دهد.

ضایعات رادیواکتیو (مواد پرتوزا)

جدا از مواد پرتوزای اضافه‌شده به خاک درنتیجه‌ی آزمایش‌های تسلیحات اتمی و حوادث (مانند حادثه‌ی چرنوبیل که در کشور اُکراین اتفاق افتاد) ممکن‌است خاک‌ها با مواد زاید دارای میزان اندکی مواد پرتوزا که برای دفع در خاک دفن شده‌اند وارد واکنش گردد. با وصف آن‌که حتی مواد هنگام جای‌گذاری در گودال‌های کم‌عمق به‌صورت جامد باشند، انحلال و حرکت متعاقب آن در خاک تا حدی امکان‌پذیر است. پلوتونیوم، اورانیم، امریشیوم، نپتونیوم، کوریوم و سزیم از عناصری هستند که مواد پرتوزای آن‌ها در ضایعات هسته‌ای وجود دارد.

ماده‌ی پرتوزای موجود در ضایعات از نظر انحلال در آب بسیار متفاوتند، ترکیبات اورانیوم کاملاً محلول بوده و ترکیبات پلوتونیوم و امریشیوم نسبتاً نامحلول و ترکیبات سزیم از نظر انحلال در حدمتوسط قرار دارند. سزیم، که یک یون دارای بار مثبت است به‌وسیله‌ی کلوییدهای خاک جذب می‌شود. به‌نظر می‌رسد که اورانیوم به‌صورت یون UO_2^{2+} وجود دارد، که آن نیز جذب خاک می‌شود. بار الکتریکی پلوتونیوم و امریشیوم بسته به سرشت همتافت‌های ایجاد شده این عنصر با خاک متغیر است.

تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای در جذب واقعی این مواد پرتوزا به‌وسیله‌ی گیاه در خاک وجود دارد که وابسته به خصوصیات خاک مانند pH و میزان ماده‌ی آلی می‌باشد. جذب پلوتونیوم از خاک به‌وسیله‌ی گیاه کمترین و جذب نپتونیوم بیشترین و جذب امریشیوم و کوریوم متوسط می‌باشد. مقدار این عناصر در میوه و بذور نباتات کمتر از برگ آن‌هاست. و بنابراین، غذای انسان درمقایسه با علوفه کمتر درمعرض آلودگی به‌وسیله‌ی مواد پرتوزا قرار می‌گیرد. از آن‌جاکه خاک برای دفن ضایعات حاوی مواد پرتوزا اندک به‌کار می‌رود، احتیاط لازم باید به‌عمل آید تا اطمینان یابیم که خصوصیات خاک از آبشویی و یا جذب این عناصر به مقدار قابل توجه به‌وسیله‌ی گیاه ممانعت می‌کند. اطلاعات موجود در جدول ۱۵-۱۸ اختلاف در توانایی خاک‌های مختلف را برای نگهداری مواد حاصل از تجزیه‌ی اورانیوم و توریوم نشان می‌دهد. واضح است که نظارت بر نقاط انتخاب شده برای اطمینان از حداقل جابه‌جایی مواد پرتوزا به دیگر بخش‌های محیط لازم و ضروری است.

جدول ۱۵-۱۸ غلظت مواد حاصل از تجزیه‌ی اورانیوم ۲۳۸ و توریوم ۲۳۲ در ۶ راسته‌ی خاک در لوییزیانا. به اختلاف قابل‌توجه در میان سطوح جذب شده خاک‌های مختلف دقت کنید.

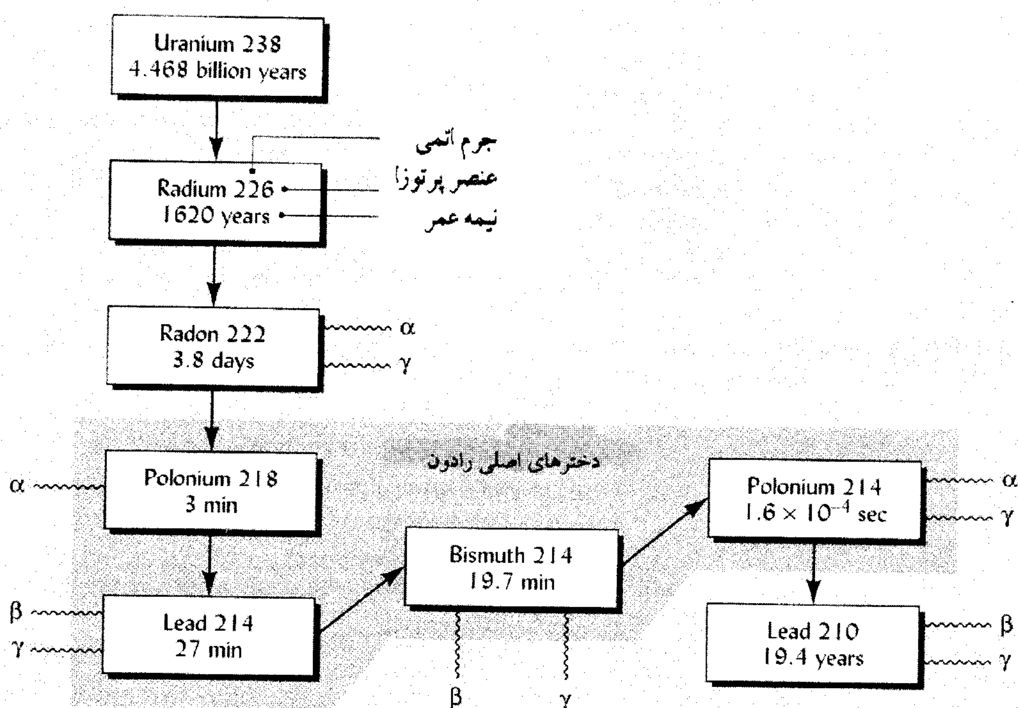
زیر راسته خاک	تعداد نمونه	مواد حاصل از تجزیه‌ی U-۲۳۸			موادحاصل از تجزیه‌ی Th-۲۳۲		
		Ra-۲۳۶	Pb-۲۱۴	Bi-۲۱۴	Pb-۲۱۲	Cs-۱۳۷	K-۴۰
Udults	۲۲	۳۷/۳	۲۷/۷	۲۸/۹	۲۷/۴	۱۶/۷	۱۳۶
Aquults	۲۴	۳۰/۴	۳۶/۷	۳۸/۱	۵۰	۱۰/۹	۱۰۰
Aqualfs	۳۷	۵۱/۱	۳۸/۳	۳۶/۶	۵۹/۷	۱۳/۵	۲۶۳
Aquepts	۹۳	۹۲/۲	۴۷/۶	۴۵/۲	۶۳/۸	۱۶/۱	۶۳۶
Aquolls	۵۷	۹۰/۴	۴۵/۸	۴۴/۷	۵۹/۵	۸/۷	۶۰۸
Hemists	۱۸	۱۳۶/۳	۴۹/۴	۴۹	۷۴/۹	۱۹/۴	۷۸۳

۱۴-۱۸ گاز رادون حاصل از خاک

خاک منبع اولیه گاز بدون‌رنگ و بدون‌بوی پرتوزای رادون می‌باشد که می‌تواند سبب ایجاد سرطان ریه گردد. رادون از تجزیه‌ی مواد پرتوزای رادیوم به‌وجود می‌آید، که خود حاصل تخریب اورانیوم است که به مقدار کمی در خاک‌ها یافت می‌شود (شکل ۱۹-۱۸).

میزان خطرناک رادون در خاک‌های خاص که از سنگ‌های آذرین و رسوبات دریایی غنی از اورانیوم تشکیل می‌گردند، مشاهده شده است. آسیب ناشی از این گاز در سلامتی دراثر تغییرشکل محصولات حاصل از تجزیه‌ی مواد پرتوزا به‌صورت اشعه الفا می‌باشدکه می‌تواند در بافت‌های ریه انتشار یافته و سبب ایجاد سرطان گردد. رادون از طریق خاک اطراف وارد ساختمان‌ها و یا منازل می‌شود از آن‌جاکه عایق‌بندی در ساختمان‌های نوین مانع از عبور بسنده‌ی هوا و امکان تبادل آن با بیرون است، رادون می‌تواند در مقادیر خطرناک تجمع یابد.

رادون معمولاً از طریق شکاف‌های موجود در دیوارهای زیرین و کف و از اطراف منافذ لوله‌های آب و گاز به‌داخل ساختمان‌ها وارد شده و در آن‌ها حرکت می‌کند. اگر آزمایش نشان دهد که میزان‌های نامطلوب رادون وجود دارد، ساده‌ترین اقدام پاک‌سازی شامل عایق‌اندودکردن تمام منافذ و ترک‌های ورودی است. اقدامات بیشتر شامل ساخت نظام‌های کامل تهویه زیرزمین‌ها با بیرون برای جلوگیری از تجمع میزان‌های ناسالم گاز رادون می‌باشد. از آن‌جاکه رادون گازی خنثی است با خاک وارد واکنش نشده و خاک فقط به‌عنوان یک مجرا برای حرکت گاز عمل می‌کند. بسیار احتمال دارد که خاک‌های بافت درشت سبب انتقال رادون با سرعت بیشتر از خاک‌های بافت ریز به قسمت‌های زیرزمینی شوند.



شکل ۱۹-۱۸ تجزیه‌ی اورانیم ۲۳۸ پرتوزا در خاک‌ها سبب تشکیل گاز خنثی اما پرتوزای رادون می‌شود. گاز ذرات α و اشعه‌ی γ منتشر کرده و باعث ایجاد دخترهای رادون می‌گردد که قادرند ذرات α، β و اشعه γ منتشر کنند. درات α سبب خسارت به بافت‌های ریه گردیده و می‌توانند سرطان ایجاد کنند. گاز رادون سالانه سبب حدود ۱۰۰۰۰ فقره مرگ در آمریکا می‌شود.

۱۵-۱۸ نتیجه‌گیری نهایی

سه استنتاج را در ارتباط خاک با محیط زیست می‌توان ارائه نمود. ۱- از آن‌جاکه خاک‌ها منابع ارزشمندی هستند باید آن‌ها را از آلودگی زیست‌محیطی به‌خصوص آن‌هایی‌که دارای صدمات دائمی می‌باشند، محافظت کرد. ۲- به‌دلیل ظرفیت وسیع و قابل‌ملاحظه در جذب، ایجاد پیوند و تجزیه‌ی مواد اضافه‌شده، خاک‌ها سازوکارهای امیدبخشی را برای دفع و استفاده از بسیاری فضولات ارائه می‌دهند که درغیراین‌صورت سبب آلودگی دیگر بخش‌های محیط زیست می‌شوند. ۳- آلاینده‌های خاک و محصولات حاصل از تجزیه‌ی آن‌ها می‌تواند برای انسان و سایر حیوانات، درصورت انتقال آن‌ها از خاک به نبات، هوا و مخصوصاً در مخازن تأمین آب سمی باشند.

برای کسب فهم بهتر درمورد این‌که خاک‌ها چگونه باید مورداستفاده قرار گرفته، و ضمن تلاش‌های مدیریت ضایعات چگونه محافظت گردند، خاک‌شناسان بخش قابل‌ملاحظه‌ای از پژوهش‌های خود را به تلاش‌هایی در مسایل آلودگی زیست محیط اختصاص داده‌اند. به‌علاوه، خاک‌شناسان باید به گروه‌های تحقیق که به‌دنبال جستجوی راه‌های بهتر برای پاک‌کردن آلودگی زیست‌محیطی می‌باشند، مساعدت لازم را مبذول دارند. پیداکردن محل‌هایی مناسب که خاک‌ها به‌طور مطمئن برای پاک‌کردن و ذخیره فضولات مورد استفاده قرار گیرند، شامل اطلاعات جغرافیایی درباره‌ی خاک‌هاست که سرفصل بخش بعدی می‌باشد.

سووالات برای مطالعه

۱- کدام یک از فعالیت‌های کشاورزی سبب آلودگی آب و خاک شده و چه اقداماتی برای کاهش این آلودگی‌ها باید به‌عمل آید؟

۲- انواع واکنش‌ها را که در آفت‌کش‌ها در خاک صورت می‌گیرد شرح دهید. مشخص کنید چه کارهایی می‌توانیم انجام دهیم که سبب انجام یا توقف این واکنش‌ها شود؟

۳- مسایل زیست‌محیطی همراه با دفع مقادیر زیاد لجن فاضلاب در اراضی زراعی را تشریح نموده و مشخص کنید که مسأله‌ای آلودگی چگونه می‌تواند تخفیف یابد؟

۴- پالایش زیستی (Bioremediation) چیست؟مزایا و مضار آن درمقایسه با روش‌های فیزیکی و شیمیایی مدیریت ضایعات آلی کدامند؟

۵- اگر چه مقادیر زیادی از آن‌چه فلزات سنگین نام دارند سالانه وارد خاک می‌شوند، مقادیر نسبتاً اندکی راه خود را در خوراک انسان پیدا می‌کنند. چرا؟

۶- طراحی، طرز کار و مدیریت چاله‌های دفع زباله‌ی امروزی را با آن‌چه ۳۰ سال قبل استفاده می‌شد، مقایسه کنید و مشخص کنید چگونه تغییرات مزبور در آلودگی آب و خاک مؤثرند؟

۷- رس‌های آلی چه می‌باشند و چگونه آن‌ها برای کمک به پاک‌سازی خاک‌های آلوده شده با ترکیبات آلی غیرقطبی مورد استفاده قرار می‌گیرند؟

۸- ماده‌ی آلی و برخی از رس‌های سیلیکاتی بعضی از آلاینده‌ها را به‌طور شیمیایی جذب و آن‌ها را از جمله‌ی میکروبی و آبشویی از خاک حفظ می‌کنند. کاربردهای این حفاظت(مثبت و منفی) در تلاش‌های کاهش آلودگی خاک و آب چه می‌باشند؟

۹- کدام یک از مواد پرتوزا در آلودگی خاک و آب دارای بیشترین اهمیت بوده، و چرا آن‌ها به آسانی به‌وسیله‌ی نباتات جذب نمی‌شوند؟

۱۰- مزایا و مضار نسبی روش‌های دفع آلودگی در جا و غیر در جای خاک‌ها به‌وسیله‌ی ترکیبات آلی چه می‌باشند؟

۱۱- پالایش گیاهی (Phytoremediation)چیست، و برای کدام یک از آلاینده‌ها مفید است؟شرح دهید.

سیمای خاک و زمین‌نمای چنین ترسیم شده
اثر هنری دانشمند خاک است.
ل. پ. ویلدینگ

فصل ۱۹

اطلاعات جغرافیایی خاک‌ها

یک ثابت بزرگ در ارتباط با خاک، متغیربودن آن است. کسی که در ارتباط نزدیک با خاک است به‌زودی درمی‌یابد که خاک هر چیزی می‌تواند باشد به‌استثنای یکنواخت‌بودن. در بحث خود بر روی توسعه‌ی خاکرخ (فصل ۲) ما توجه خود را به تغییرات قائم خاک، یعنی تفاوت در بین افق‌های خاک معطوف نمودیم. موضوع این فصل تغییرات افقی خاک است. خاک‌ها چگونه از یک نقطه به نقطه‌ی دیگر در زمین‌نما تفاوت می‌کنند.

برای استفاده عملی از اصول خاک‌شناسی، مدیر منابع اراضی باید نه‌تنها از چون‌وچرای خاک‌ها، بلکه باید از (کجای) خاک نیز آگاه باشد. اگر سازندگان یک خیابان پرواز (باند فرودگاه) بخواهند از خطرات ناشی از رس‌های منبسط‌شونده احتراز جویند، آن‌ها باید بدانند که این خاک‌های مسأله‌دار (کجا) قرار دارند. یک متخصص آبیاری احتمالاً می‌داند که کدام خصوصیات خاک برای آبیاری باصرفه لازمند. اما برای این‌که طرح موفقیت‌آمیز باشد او باید بداند، که خاک‌ها با این خصوصیات کجا یافت می‌شوند. تقریباً در هر طرحی که با خاک سروکار دارد، از برنامه‌ریزی یک زمین بازی تا کوددادن یک مزرعه، می‌توان از مزایای اطلاعات جغرافیایی درمورد خاک‌ها و خصوصیات خاک‌ها بهره گرفت. این فصل مقدمه‌ای است بر بعضی از ادوات که به ما می‌گوید چه چیزی در کجا قرار گرفته است.

۱-۱۹ تغییرات مکانی خاک‌ها در مزرعه

مرور سریع بر شکل ۷-۹ (تغییر تهویه از سطح یک خاکدانه تا مرکز آن) و شکل ۲۰-۱۲ (تغییرات ماده آلی از ایالت تگزاس تا ایالت مینه‌سوتا) به‌ما خاطرنشان می‌سازد که خصوصیات خاک در تمام مقیاس‌ها متفاوتند. در این فصل ما تغییرات خاک را طی فواصلی که از نظر مدیریت خاک دارای معنی جغرافیایی می‌باشند، از چند متر تا کیلومترها مورد ملاحظه قرار خواهیم داد.

در تلاش برای تفهیم تغییرات جغرافیایی خاک‌ها و چگونگی بهترین استفاده از هر بخش از اراضی، اغلب مفید خواهد بود که هر ناحیه را از نظر ۵ عامل مؤثر در تشکیل خاک یعنی اقلیم، مواد مادری، موجودات زنده، پستی‌وبلندی و زمان مورد تجزیه تحلیل قرار دهیم (بخش ۲-۶ تا ۲-۱۶ را مطالعه کنید).

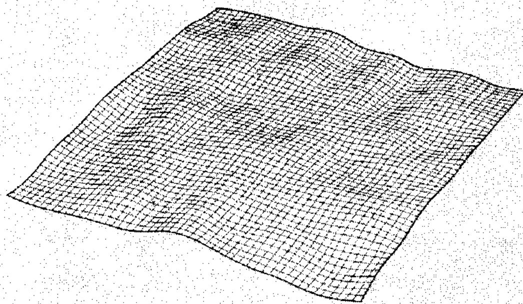
اقلیم معمولاً در تغیر خاک‌ها در مقیاس خیلی بزرگ تأثیرگذار است (اختلافات منطقه‌ای)، اما وقتی زمین‌نما شامل منابع بزرگ آب و تپه‌ها و کوه‌های قابل توجه باشد، بارندگی و دما ممکن‌است در فاصله‌ی ۱ کیلومتر و یا کمتر به‌مقدار زیادی تغییر کند. برای نمونه، اقلیمک در شیب‌های روبه‌شمال ممکن‌است از چند نظر با شیب‌های روبه‌جنوب فرق کند. همین‌طور مواد مادری معمولاً در حالت منطقه‌ای مقیاس بزرگ (برای مثال، فلات لسی بادرفته در مقابل سنگ‌های درجا) اغلب تغییر می‌کند. اما ممکن‌است تفاوت‌هایی در مقیاس کوچک نیز صورت پذیرد. خاک‌شناسان باید همواره از این تغییرات محلی مواد مادری مانن نهشته‌های کوه‌رفتی در پای یک شیب و یا آبرفت‌ها به موازات رودها آگاه باشند. مزرعه نیز نیازمند مقداری آموزش زیست‌شناسی می‌باشند تا آن‌ها را قادر سازد تغییرات موجود در ترکیب گیاه‌شناسی را که ممکن‌است علامت حضور شرایط اشباع در گودی‌ها، بیرون‌زدگی‌های آهکی و یا سایر تغییرات محلی در خصوصیات خاک باشد، تشخیص دهند. همان‌طورکه این مثال‌ها مطرح می‌سازند، اکثر تغییرات مقیاس کوچک خاک شامل تغییرات در پستی‌وبلندی است. بنابراین، آگاهی از تغییرات دقیق در شیب برای درک تغییرات در خاک در عرض زمین‌نما حیاتی می‌باشد.

تغییرات خاک در مقیاس کوچک

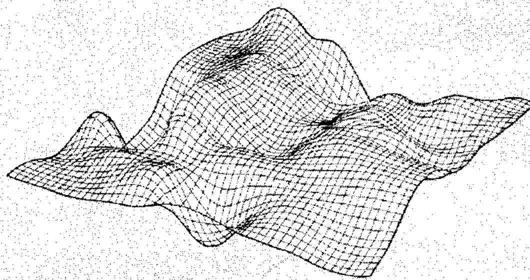
خصوصیات خاک به‌طور قابل‌توجهی در طول فواصل کوچک، در داخل چند هکتار از اراضی زراعی، در داخل یک محدوده ساختمانی حومه‌ی شهر، و حتی در داخل یک خاک انفرادی (مطابق آن‌چه در فصل ۳-۱ تعریف شد) تغییر می‌کند. در این مقیاس، دگرگونی‌ها اغلب به خاطر تغییرات کوچک در پستی‌وبلندی و ضخامت لایه‌های مادری و سایر اثرات جانداران (برای مثال، اثرات یک درخت انفرادی و یا

مدیریت سابق انسان‌ها) می‌باشد. تابلو رنگی ۲۹ نشان‌دهنده‌ی تغییرات مقیاس کوچک شگفت‌انگیز در رنگ خاک سطحی و قدرت نبات ناشی از ظاهرشدن یک افق اهکی در یک تپه به‌وسیله‌ی فرسایش بادی است.

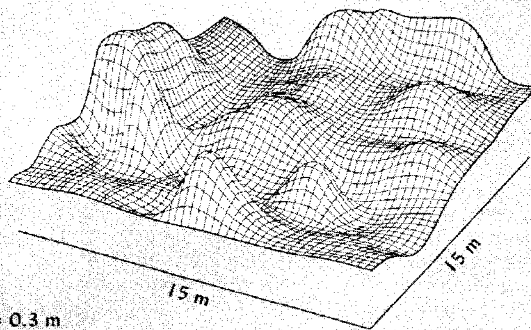
ممکن‌است اندازه‌گیری این تغییرات مقیاس کوچک مشکل بوده و برای مشاهده‌کننده‌ی عادی به‌آسانی آشکار نباشد. در بعضی از موارد، ارتفاع و رشد پوشش گیاهی بیانگر تغییرات زیرزمینی می‌باشند. در سایر موارد تغییر در خصوصیات خاک با تجزیه نمونه‌های خاک گرفته شده از چاله‌های ایجادشده در کرت موردنظر به فواصل مساوی قابل ردیابی می‌باشند (شکل۱-۱۹). این و دیگر فناوری‌ها در بخش ۲-۱۹ با توجه به استفاده‌ی عملی از این مشاهدات در تهیه‌ی نقشه‌ی خاک مورد بحث قرار خواهند گرفت.



الف) وضع فعلی سطح زمین



ب) تماس A/Bt



ج) ضخامت شن

شکل ۱-۱۹ شکل سه‌بُعدی رایانه‌ای تهیه‌شده از تغییرات در یک کرت کوچک(۱۵×۱۵ متر) در جنوب تگزاس. در این‌جا، چهره‌ی مهم در خاکرخ لایه‌ای از مواد بسیار شنی است که احتمالاً از آثار باستانی در سطح مدفون‌شده کنونی می‌باشد. (الف)سطح اراضی یکنواخت نسبتاً مسطح که به‌وسیله‌ی یک شخص ایستاده برروی زمین مشاهده می‌شود. (ب)مرز مواج بین افق A و افق Bt که بیانگر آن است افق A در بعضی نقاط ۲ تا ۳ برابر نقاط دیگر ضخیم می‌باشد.(ج)تغییرات لایه شن زیرین عملاً از صفر تا ۱ متر ضخامت. منحنی‌ها از اندازه‌گیری به‌عمل آمده از یک شبکه با فواصل یک متری در عرض یک کرت کوچک ایجاد شده است.

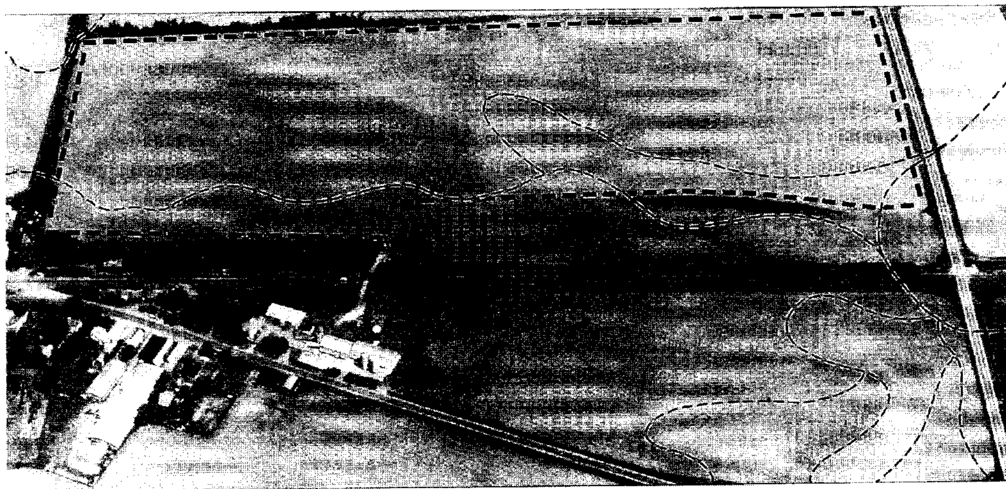
تغییرات در حاصلخیزی خاک اغلب منعکس‌کننده‌ی عملیات مدیریت خاک در سابق (شکل ۲-۱۹)، و همین‌طور اختلاف در خصوصیات خاکرخ می‌باشند. تجزیه‌وتحلیل تغییرات مقیاس کوچک دارای استفاده‌های عملی در مدیریت حاصلخیزی خاک برای یک‌مزرعه ویا یک نهالستان است. همان‌طورکه در بخش ۱۸-۱۶ تشریح شد، آزمون خاک برای مدیریت حاصلخیزی به‌طور نسبی برروی نمونه‌های مرکب (مخلوطی از مغزه‌های کوچک گرفته‌شده از ۱۵ تا ۲۰ نقطه تصادفی) انجام می‌شود که معرف کل مزرعه و یا منطقه‌ای به وسعت ۱۰ تا ۲۰ هکتار می‌باشد.

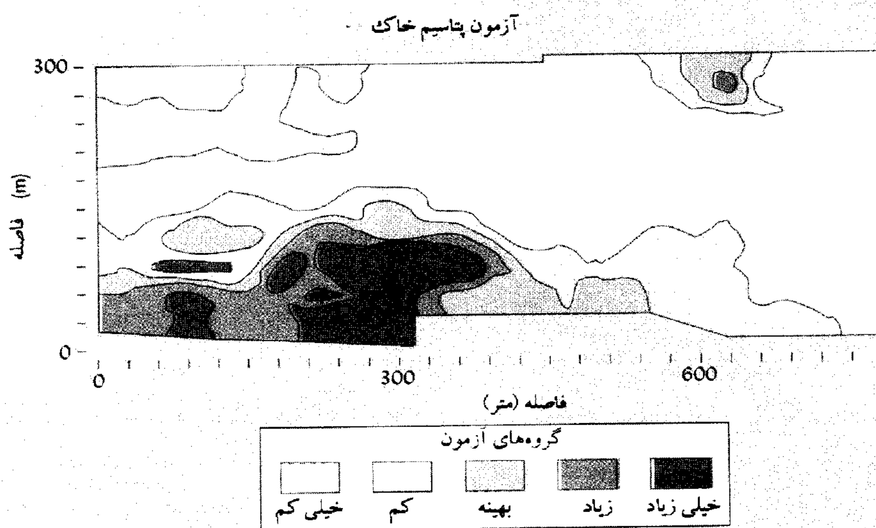
وقتی تغییراتی در مقیاس کوچک موجود باشد، میزان حاصلخیزی واقعی در اکثر نقاط در مزرعه احتمالاً به‌مقدار زیادی کمتر و یا بیشتر از میزان متوسط عدد آزمون خاک در مزرعه خواهد بود. برای بررسی اثر منظورنشده‌ی تغییرپذیری، یک مقایسه با اندازه‌ی کفش به‌عمل

آورید. توصیه‌های کودی اگر براساس متوسط عناصر غذایی مزرعه باشد، همانند خرید کفش نمره ٦ برای تمام افراد در یک خانواده است، چه، این شماره، متوسط اندازه‌ی کفش خانواده است. خوشبختانه، پیشرفت‌های فناورانه (بخش ۳-۱۹ را مشاهده کنید) ردیابی و مدیریت تغییرات مقیاس کوچک خاک را بسیار آسان کرده‌اند.

تغییرات خاک در مقیاس متوسط

در بسیاری از خصوصیات خاک، تغییرات در عرض زمین‌نما عمدتاً مربوط به اختلافات دو عامل تشکیل خاک مانند پستی‌وبلندی (زه‌کشی) و یا مواد مادری است. اگر کسی این تأثیرات عوامل تشکیل‌دهنده‌ی خاک را در یک زمین‌نما درک کند، اغلب امکان دارد که مجموعه‌ای از خاک‌های انفرادی که تمایل دارند در یک توالی در عرض زمین‌نما باهم وجود داشته باشند، مشخص گردند.





شکل۲-۱۹یک عکس هوایی مورب (بالا) از یک مزرعه در مرکز ایالت ویسکانزین، مزرعه ۲۲ هکتاری که به‌وسیله‌ی خط منقطع پررنگ مشخص شده است به تفصیل برای تهیه نقشه تغییرات مکانی پتاس قابل استفاده (آزمون خاک) مورد مطالعه قرار گرفت. نقشه با استفاده از مقادیر آزمون خاک ۱۹۹ نمونه (هرکدام از ۵ نمونه فرعی تشکیل شده بود) در یک شبکه به فواصل ۳۳ متری در سطح مزرعه که به‌وسیله‌ی رایانه ایجاد شده است. توجه کنید که مقادیر زیاد پتاسیم در ارتباط با بخشی از مزرعه است که در مجاورت قسمت مسکونی قرار دارد (قسمت پایین چپ عکس). در قبل، زارع آن بخش را به‌صورت مزرعه‌ی جداگانه اداره کرده و آن‌را برای دفع کود از اصطبل مجاور به‌کار می‌برده است. نقطه دارای پتاسیم بالا در منتهی‌الیه سمت راست مزرعه، محل یک توده کود دامی را مشخص می‌سازد که سال‌ها قبل از این مطالعه موجود بوده است. به‌نظر می‌رسد تغییرات مکانی در مقدار پتاسیم که با مرزهای خاک (خطوط منقطع کم‌رنگ)که در گزارش مطالعات خاک‌شناسی شهرستان آمده است، در ارتباط نباشد.

اغلب تشخیص یک عضو از مجموعه، برآورد خصوصیات خاک را در موقعیت‌های مختلف اراضی که به‌وسیله‌ی دیگر اعضا اشغال شده است، امکان‌پذیر می‌سازد. این مجموعه از خاک‌ها شامل توالی سنگی[1] (خاک‌هایی که در توالی مواد مادری مختلف یافت می‌شوند)، توالی زمانی[2] (خاک‌هایی که در مواد مادری یکسان اما با سن متفاوت یافت می‌شوند) و توالی پستی‌وبلندی[3] (خاک‌هایی که برحسب تغییرات در شیب تنظیم شده‌اند) می‌باشند.

خاک‌های با زه‌کشی خوب، متوسط و تا حدی زه‌کشی نامناسب اغلب باهم در یک توالی پستی‌وبلندی مشخص، که شیوه‌ی قرارگرفتن خاک‌های مختلف در یک زمین‌نما مشخص می‌کند، یافت می‌شوند. اگر تمام خاک‌های موجود در یک توالی پستی‌وبلندی از یک ماده مادری تکامل‌یافته باشند مجموعه خاک‌ها که از نظر زه‌کشی و یا پستی‌وبلندی باهم اختلاف دارند، کاتنا[4] نامیده می‌شوند. مفهوم کاتنای خاک در ارتباط‌دادن خاک‌ها با چشم‌انداز (زمین‌نما) در یک منطقه داده شده، یاری‌دهنده است. اغلب می‌توان خاک‌های مختلف در یک کاتنا را به‌وسیله‌ی رنگ خاک سطحی، و یا حتی با وضوح بیشتر به‌وسیله‌ی رنگ‌های افق B از هم تمیز داد. برای مثال، در کاتنای حاره‌ای که در تابلو رنگی شماره ۱۶ نشان داده شده است، رنگ‌ها از خاکستری تیره در پایین شیب تا قرمز مات در بالای شیب تغییر می‌کند.

با مراجعه به شکل ۳-۱۹ که در آن کاتنای سری‌های Bath – Mardin – Volusia - Alden نشان داده شده است، رابطه‌ی آن‌ها می‌تواند مشاهده گردد. اگرچه تمام چهار و یا پنج عضو کاتنا اغلب دریک منطقه باهم یافت نمی‌شوند، نمودار رابطه‌ی مکانی بین خاک‌ها را در ارتباط با وضعیت زه‌کشی آن‌ها تشریح می‌کند. همان‌طورکه نشان داده شده است، وضعیت زه‌کشی هر عضو کاتنا سبب ایجاد خصوصیات خاکرخ مجزا می‌شود که در انتشار ریشه نبات و سازگاری گونه‌ها مؤثر است.

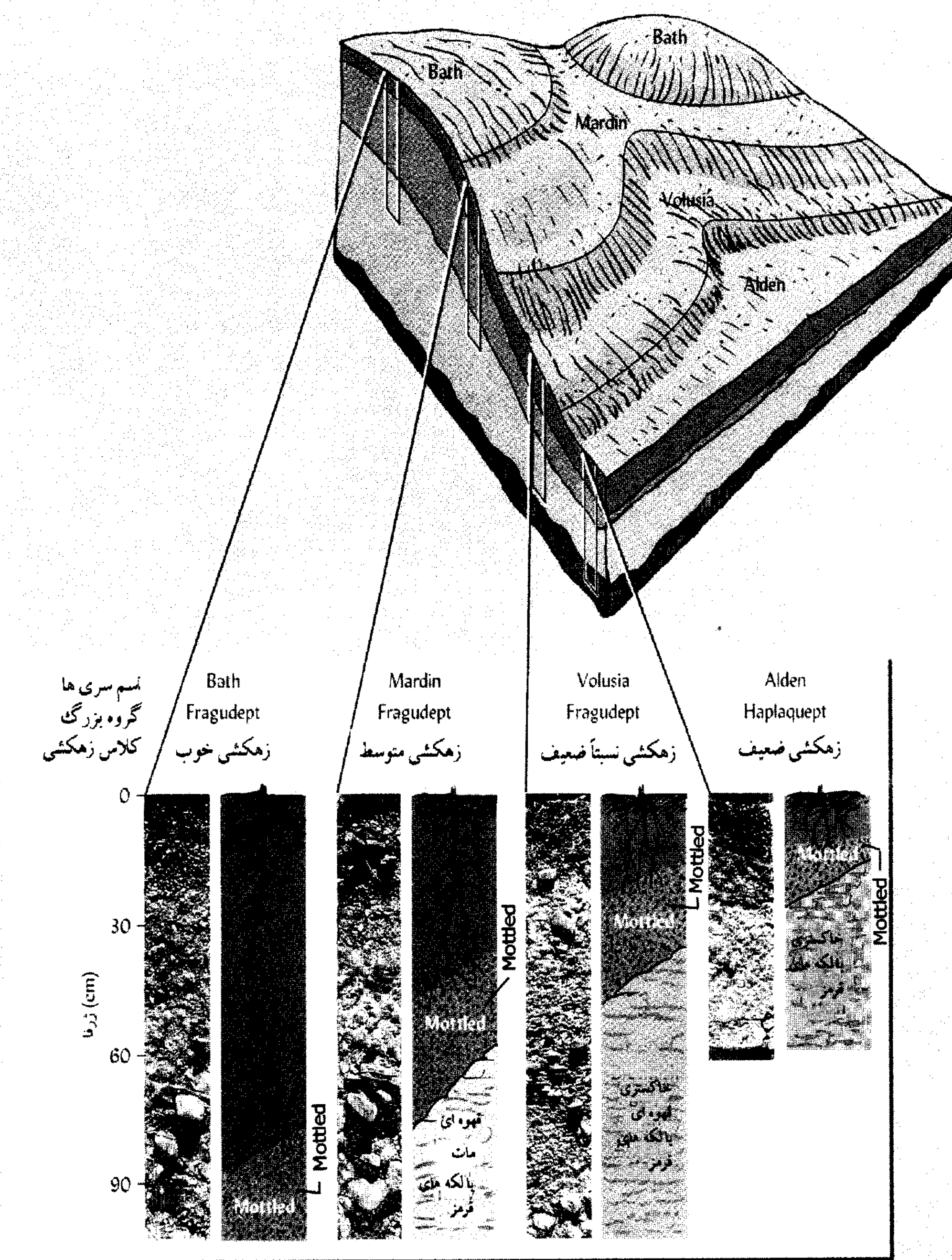
یک خاک مجموعه[5]، گروه‌بندی کلی از خاک‌های انفرادی می‌باشد، که باهم در یک زمین‌نما یافت می‌شوند. خاک مجموعه به‌دنبال دو یا سه خاک غالب در گروه نام‌گذاری می‌شود، اما ممکن‌است دارای چندین خاک اضافی با توسعه کمتر باشد. ممکن‌است خاک‌ها از همان راسته خاک و یا از راسته‌های مختلف باشند (شکل ٤-۱۹ الف و ب). آن‌ها ممکن‌است از همان ماده‌ی مادری ویا مواد مادری مختلف تشکیل شده باشند. تنها پیش‌نیاز، وقوع خاک‌ها باهم در همان محل است. تشخیص خاک مجموعه دارای اهمیت عملی می‌باشد، زیرا ما را قادر می‌سازند که زمین‌نماهای اراضی را در مناطق وسیع مشخص نموده، و در برنامه‌ریزی شیوه‌های عمومی کاربری به ما کمک می‌کنند. یک خاک مجموعه معرف دامنه‌ی مشخصی از روابط خصوصیات خاک با زمین‌نماست، گرچه دامنه شرایط مربوطه ممکن‌است بسیار وسیع باشد (شکل ٤-۱۹ ب را مشاهده کنید).

تغییرات خاک در مقیاس بزرگ

در مقیاس بزرگ، حالت‌های خاک بدواً حاصل شیوه‌ی اقلیمی، پوشش گیاهی، و بعداً در ارتباط با اختلاف در مواد مادری می‌باشد. اگرچه اغلب مفید است که خصوصیات کلی منطقه‌ای خاک مورد اشاره قرار گیرد، باید به‌خاطر داشت، که تغییرات محلی زیادی در بین هر گروه‌بندی منطقه‌ای موجود است. مطالعه‌ی نقشه خاک‌های جهان، که در پشت جلد کتاب حاضر چاپ شده، و نقشه خاک‌های آمریکا که در ضمیمه الف آمده است، بیانگر شیوه‌های مهم منطقه‌ای است این شیوه‌ها در مجموعه‌ی نقشه‌ی راسته‌های خاک که در فصل ۳ آمده‌اند، آشکار می‌باشند. از این نقشه‌ها می‌توان مشاهده کرد که اکسی‌سول‌های هوادیده عمدتاً در مناطق گرم‌ومرطوب آمریکای جنوبی و آفریقا، که به‌ترتیب به‌وسیله‌ی رودخانه‌های آمازون و کنگو زه‌کشی می‌شوند قرار دارند. مولی‌سول‌ها مشخص‌کننده‌ی علف‌زارهای نیمه‌خشک جهان هستند. اریدی‌سول‌ها در مناطق بیابانی قرار دارند. گسترش خیلی زیاد رسوبات لُسی در آمریکای مرکزی (شکل۱۸-۲ را مشاهده کنید) نمونه‌ای از تأثیر مواد مادری در مقیاس منطقه‌ای است. اطلاعات خاک در این مقیاس می‌تواند کمک مهمی در فهرست‌برداری از منابع طبیعی یک ایالت، استان و یا مملکت ارایه کند.

---

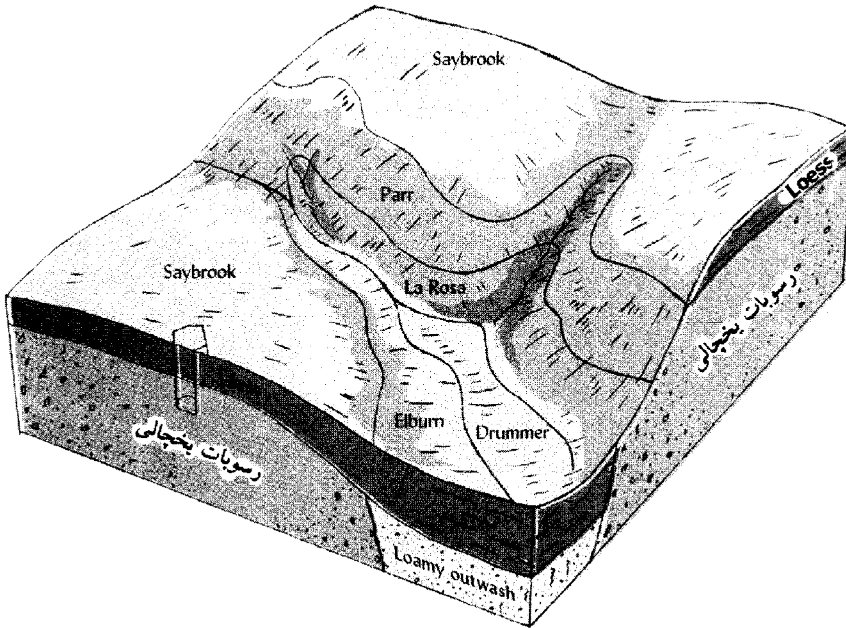
[1] -Lithosequence
[2] -Chronosequence
[3] -Toposequence
[4] -Catena
[5] -Soil association



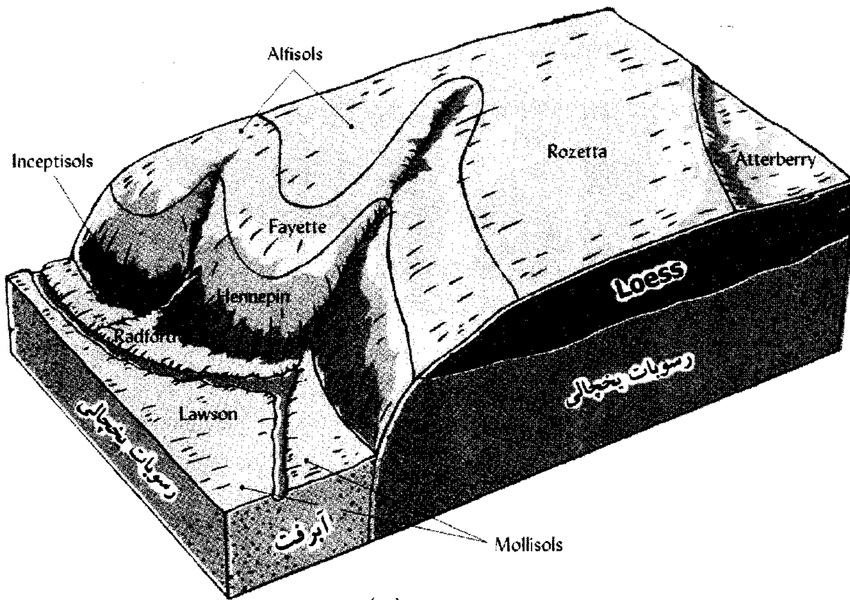
شکل۳-۱۹ منولیت‌های خاکرخ چهار خاک در یک کاتنای زه‌کشی(زیر) و نمای سه‌بعدی نشان‌دهنده‌ی موقعیت آن‌ها در یک زمین‌نما (بالا). به کاهش عمق منطقه دارای زه‌کشی خوب (در بالای لایه‌های ماتل[1]) از سری بات[2] (شیب بالایی دارای تهویه خوب) تا الدن[3](شیب پایین با زه‌کشی ضعیف توجه کنید). خاک الدن در سرتاسر فصل رشد مرطوب باقی می‌ماند. این خاک‌ها همگی از ماده‌ی مادری یکسانی تکامل‌یافته و فقط از نظر زه‌کشی و پستی‌وبلندی باهم تفاوت دارند. هر چهار خاک به رده‌ی انسپتی‌سول تعلق دارند. به‌استثنای سری تحت کشت ولوزیا[4]، مونلیت‌های تهیه‌شده از مناطق جنگلی می‌باشند.

---

1 - Motteled نقاط اکسایش و احیاء
2 - Bath
3 - Aldon
4 - Volusia



(الف)



(ب)

شکل ٤-۱۹ دو خاک مجموعه از شهرستان بورو[1] در ایالت ایلی‌نوی. خاک مجموعه‌ی Larosa- Saybrook-Parr (الف)مولی‌سول می‌باشند. آن‌ها عمدتاً در ارتباط با پستی‌وبلندی و مواد مادری (Parr و Larosa از رسوبات یخچالی و دیگران عمدتاً از لس تشکیل شده‌اند) تفاوت دارند. جدول ۱-۱۹ را برای تشریح پدون مشخص‌شده در خاک Saybrook مشاهده کنید. خاک مجموعه Rozella,Fayette,Hennepin (ب) شامل دامنه‌ی وسیعی از شرایط خاک، و شامل خاک‌هایی از دو راسته می‌باشد.

۲-۱۹ فنون و وسایل تهیه‌ی نقشه‌ی خاک‌ها

اطلاعات جغرافیایی درمورد خاک‌ها معمولاً به بهترین وجه به‌وسیله‌ی نقشه‌ی خاک با مدیران اراضی مبادله می‌شود. نقشه خاک‌ها به‌عنوان وسیله‌ای برای برنامه‌ریزی عملی و مدیریت اراضی شدیداً مورد تقاضاست. بنابراین، بسیاری از دانشمندان خاک در تهیه‌ی نقشه‌های

[1] -Bareaut Coanty

خاک تخصص دارند. قبل‌از شروع فرایند واقعی تهیه نقشه یک خاک‌شناس باید تاآن‌جا که مقدوراست درمورد خاک‌ها، زمین‌نماها و پوشش گیاهی درمنطقه موردمطالعه مطلب یاد بگیرد. بنابراین، نخستین‌گام درتهیه نقشه خاک، جمع‌آوری و مطالعه نقشه‌های قدیمی و مقیاس‌کوچک خاک، نقشه‌های زمین‌شناسی و پستی‌وبلندی، برگه‌های قبلی تشریح خاکرخ وهرنوع از اطلاعات دیگر موجود در منطقه است. وقتی مطالعات خاک‌شناسی آغاز می‌گردد، وظیفه خاک‌شناسان شامل این ۳ مورد است : (۱) تشریح هر واحد خاک که باید نقشه آن تهیه شود (بخش۳-۱۹ را مشاهده کنید)، (۲) جمع‌آوری اطلاعات از طبیعت هر خاک، و(۳) ترسیم مرزهایی از هر واحد خاک که در زمین‌نما یافت می‌شود. اکنون بعضی از ادوات را که دانشمند خاک برای مشخص‌کردن خاک‌ها در مزرعه مورد استفاده قرار می‌دهد، مورد بررسی قرار می‌دهیم.

تشریح خاک[1]

ممکن‌است دانشمندان خاک از رایانه‌ها و ماهواره‌ها استفاده کنند، اما آن‌ها بیل‌ها و مته‌ها را نیز به‌کار می‌برند. به‌رغم تمام پیشرفت‌های فناورانه در سال‌های اخیر، قلب عملیات تهیه نقشه خاک هنوز در خاکرخ است. یک خاکرخ چه با دست و چه با نهرکن حفر شده باشد، اساساً یک چاله مربع مستطیل است که به اندازه‌ی کافی عمیق بوده، تا امکان دهد یک یا چند دانشمند داخل آن شده، و به مطالعه یک پدون شاخص (فصل۱-۳) آشکار شده در چاله‌ی خاک بپردازند. تابلوهای رنگی ۱ تا ۱۲ عکس‌های هستند که از چهره این چاله‌ها برداشت شده‌اند. پس از زدودن نخاله خاک سست از چهره‌ی این چاله، دانشمندان به مطالعه‌ی رنگ، بافت، پایداری، ساختمان، چگونگی توسعه‌ی ریشه گیاهان، و سایر چهره‌ها، برای تعیین این‌که کدام افق وجود داشته و مرز آن‌ها در چه عمقی قرار گرفته است، می‌پردازند. معمولاً مرز افق‌ها به‌وسیله‌ی یک بیلچه و یا چاقو، همان‌طورکه در قسمت راست تابلو ۹ رنگی مشاهده می‌شود، مشخص می‌گردد.

تشریح خاک در یک جدول خاص (به جدول ۱-۱۹ به‌عنوان یک نمونه مراجعه فرمایید) نوشته می‌شود تا ارتباط با دیگر دانشمندان دیگر و مقایسه با دیگر خاک‌ها آسان شود. گاهی خاک‌شناسان از جعبه‌های صحرایی برای تعیین کانی‌های کربناته آزاد (که درصورت مواجه با اسید کلریدریک ۱۰ درصد جوشش گازکربنیک مشاهده می‌شود) و یا pH خاک(شکل ۲۰-۹ را مشاهده کنید) استفاده می‌کنند.

در این مرحله، تا آن‌جا که مقدور است افق‌های اصلی خاک (B,E,A وغیره)و افق‌های فرعی ($Ap, 2B_t$ و غیره) مشخص می‌شوند (جدول ٤-۲ را مشاهده‌کنید). نهایتاً نمونه‌هایی از هر افق برداشت می‌شود. این نمونه‌ها برای انجام تجزیه‌های آزمایشگاهی تفضیلی و بایگانی مورداستفاده قرار می‌گیرند. تجزیه‌های آزمایشگاهی اطلاعاتی برای تعیین خصوصیات‌شیمیایی، فیزیکی و کانی‌شناسی هرخاک ارایه می‌دهند.

بدین‌صورت دانشمندان خاک، که برای تهیه نقشه‌ی‌خاک یک منطقه انتخاب شده‌اند، خود را با خاک‌هایی که انتظار یافتن آن‌ها را دارند، آشنا ساخته، و یاد می‌گیرند به دنبال خصوصیات انحصاری به‌خصوص، برای تعیین سریع خاک و تمیز آن‌ها از خاک‌های دیگر منطقه باشند.

ترسیم مرزهای خاک

دانشمند خاک به‌دلایل آشکار نمی‌تواند چاله‌های در سرتاسر زمین‌نما برای تعیین آن‌که کدام نوع خاک وجود دارد و مرزهای آن در کجا قرار گرفته‌اند، حفر کند. درعوض نامبرده با استفاده از یک مته‌ی دستی مواد خاکی را از حفرات متعدد کوچک بالا می‌آورد (شکل۵-۱۹ الف) بافت، رنگ و سایر خصوصیات مواد خاکی در عمق‌های مختلف می‌توانند با خصوصیات خاک‌های شناخته‌شده در منطقه به‌طور ذهنی مقایسه شوند.

البته با صدها خاک مختلف در بسیاری از مناطق این عمل یک کار بی‌سرانجام به‌نظر می‌آید، گرچه آن‌چنان که تصور می‌شود، کار دلسردکننده نیست. زیرا خاک‌شناس به‌طور چشم‌بسته و یا تصادفی به حفر چاله مبادرت نمی‌ورزد، بلکه نامبرده با دانستن خاک مجموعه و با توجه به ۵ عامل مؤثر در تشکیل خاک، کار می‌کند که مشخص می‌سازند، کدام خاک احتمالاً در کدام قسمت زمین‌نما پیدا می‌شود. معمولاً تنها شمار اندکی خاک احتمالاً یک موقعیت خاص را اشغال می‌کنند. بنابراین، فقط چند خصوصیت اندک باید مشاهده گردد. مته‌زدن خاک اساساً برای تأیید این مطلب است که نوع پیش‌بینی شده در یک زمین‌نما دقیقاً همانی است که در آن‌جا وجود دارد

سرشت واحدهای خاک و موقعیت خطوط مرز در اطراف آن‌ها از اطلاعات حاصل از مته‌زدن‌ها در موقعیت‌های مختلف در طول زمین‌نما استنباط می‌شود، یک روش ساده اما پرزحمت و زمان‌بَر برای کسب اطلاعات خاک، زدنِ مته در فواصل منظم (مثلاً هر ۵۰ متر) در یک شبکه در طول زمین‌نماست (شکل٦-۱۹ الف)، نقاط با خصوصیات مشابه می‌توانند برای ایجاد مرز خاک به‌همدیگر وصل گردند. این شیوه بعضی مواقع در کشورهای درحال‌توسعه که نیروی کار برای جمع‌آوری نمونه خیلی پرهزینه نیست، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

---

[1] -Soil description



(الف)

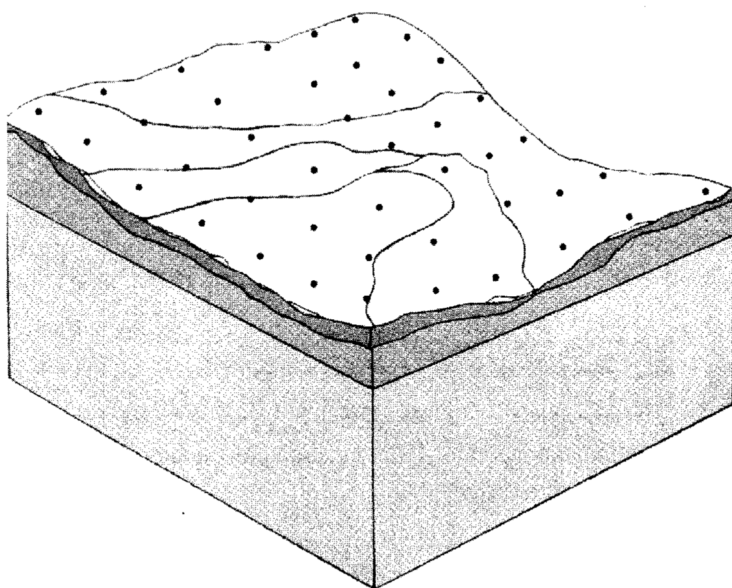


(ب)

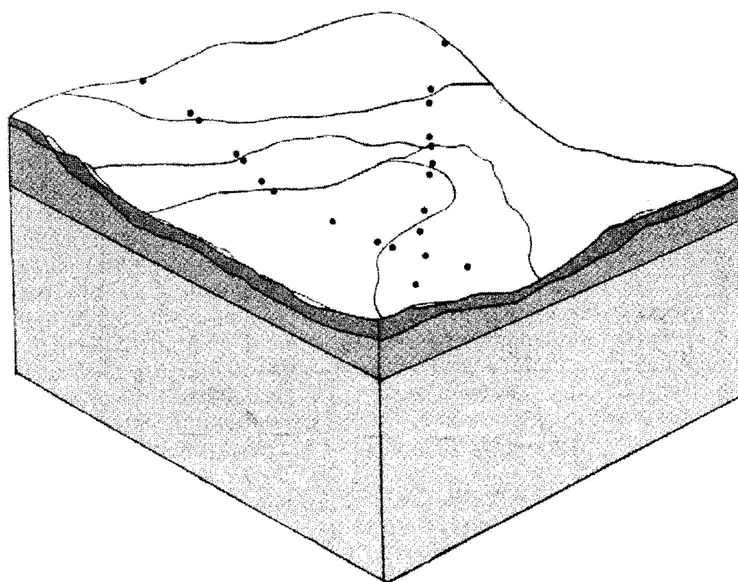


شکل ۵-۱۹ نقشه خاک به‌وسیله‌ی دانشمندان که در مزرعه خاک‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهند، با استفاده از مته و یا سایر ادوات تشخیصی تهیه می‌شود(الف).اکثر نقشه‌ها ابتدا با نقشه مرز واحدهای ترسیم خاک برروی عکس‌های هوایی تهیه می‌گردند. (ب). یک نقشه دائمی سپس با روی هم قراردادن نقشه مرز خاک‌ها، جاده‌ها و یا سایر چهره‌ها برروی عکس‌های هوایی پایه درست می‌شود(ج). هر واحد نقشه خاک ترسیم‌شده به‌وسیله‌ی یک رمز سه‌حرفی مشخص می‌گردد. برای مثال در دو منطقه کوچک (پیکان‌ها) که $145B_2$ نام‌گذاری شده‌اند.«145» رمز سری‌های خاک و بافت سطحی فاز است. در این‌جا خاک لوم سیلتی سای‌بروک است (در بسیاری از نقشه‌های خاک‌شناسی از رمز دوحرفی به‌جای این رمز سه‌حرفی استفاده می‌شود) حروف بزرگ B بیانگر شیب در فاصله ۵-۲ درصد، و عدد ۲ انتهایی مشخص می‌سازد که خاک به‌طور متوسط فرسایش یافته است. بنابراین، منطقه‌ی مشخص‌شده دارای ۲ تا ۵ درصد شیب و مقداری فرسایش جزیی با فاز بافت سطحی لوم سیلتی سری سای‌بروک هستند

دانستن نقش عوامل تشکیل‌دهنده‌ی خاک در یک زمین‌نما می‌تواند سبب تسریع در کار خاک‌شناس گردد. زدن مته در خاک برای نمونه‌بردار یک کار زمان‌بر (درنتیجه، پرهزینه) است، بنابراین، یک تهیه‌کننده‌ی ماهر نقشه خاک از تغییر در پستی‌وبلندی، پوشش گیاهی و رنگ سطح خاک به‌عنوان یک راهنما برای تعیین محل‌های نمونه‌برداری استفاده می‌برد. یک راه‌کار شاخص پیمایش زمین‌نما در طول مقاطع انتخاب‌شده (مسیرهای مستقیم) می باشد، مته‌زدن در نقاط کافی تنها برای تأیید خصوصیات و مرزهای قابل‌انتظار است. به خاطر تعیین جای دقیق مرزهای خاک، مته‌های بسیاربیشتری نزدیک محل‌های شکست شیب، ویا سایر علایم کلیدی که محل مرزها را مشخص می‌کنند، باید زده شود.



(الف)



(ب)

شکل ۶-۱۹ دو روش برای جمع‌آوری اطلاعات از خصوصیات و مرزهای خاک به‌وسیله‌ی مته‌زدن (با نقطه‌ها مشخص شده‌اند). شیوه شبکه با فواصل معین (الف)، در بیان آسان است اما اجرای آن بسیار نیروبر است. در روش بسیار کاراتر (ب)،دانشمند خاک زمین‌نما را درطول مقاطع انتخاب شده پیمایش می‌کند (مسیرهای منظم)، مته‌زدن فقط در نقاط کافی برای تأیید خصوصیات و مرزهای پیش‌بینی شده بر اساس روابط خاک و زمین‌نما انجام می‌شود. توجه کنید که برای مشخص‌کردن جای دقیق مرزها، مته‌های بیشتری در نزدیک جاهایی‌که این مرزها احتمالاً قرار دارند زده شده‌اند.

۳-۱۹ فناوری نوین در بررسی‌های خاک

درحالی‌که هنوز مته‌زدن تکیه‌گاه اصلی بررسی‌ها و تهیه‌ی نقشه خاک است، اما سبب به‌هم‌زدن خاک گردیده و نیازمند نیروی کار زیادی است. استفاده از روش‌های متعدد غیرمهاجم پژوهش در خاک برای کمک به تشخیص خصوصیات خاک سطحی ومشخص‌کردن مرز خاک‌ها درحال افزایش است، این فناوری‌ها شامل (۱) رادارهای نفوذی زمینی، (۲)القای الکترومغناطیسی، (۳) نظام‌های مکان‌یابی جهانی، و (٤) سنجش از دور چهره‌های سطحی زمین می‌باشند

رادارهای نفوذی زمینی[1]

برای افزایش کیفیت نقشه‌ها و کاهش هزینه‌های آن در مقیاس محدود مورد استفاده قرار گرفته است. یک نیروی محرکه انرژی شدید به داخل خاک انتقال می‌یابد. وقتی نیروی محرکه به حد فاصل ذرات خاک برخورد می‌کند، انرژی به سطح خاک برمی‌گردد، این انرژی برگشت‌یافته اندازه‌گیری، و برروی یک ثبت‌کننده نمایش داده می‌شود. تشریح وسیله‌ی اندازه‌گیری صحرایی و شکل نیمرخ حاصل در شکل ۷-۱۹ نشان داده شده است. این روش در تمام خاک‌ها مناسب نیست زیرا انرژی بازتاب‌شده تحت تأثیر عواملی چند، مانند میزان رطوبت، میزان نمک و نوع رس می‌باشد. این روش در جاهایی که مؤثر است هزینه را به ۱/۳ روش ردیابی مرز خاک‌ها به‌وسیله‌ی روش‌های مته‌زدن کاهش می‌دهد.

القای الکترومغناطیسی[2]

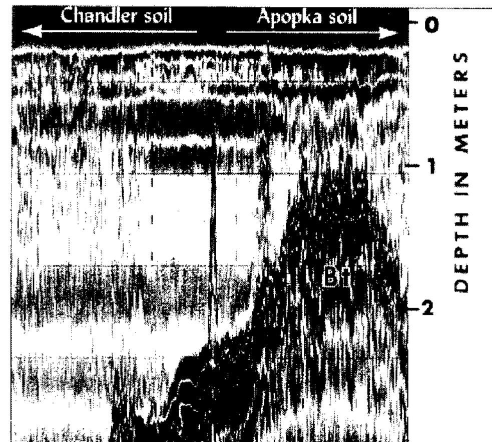
این فناوری یک روش سریع غیرمهاجم را درمورد بررسی چهره‌های سطحی ارایه می‌دهد. با استفاده از یک ابزاردستی حدوداً در اندازه و شکل یک تراز نجاری، هدایت ظاهری خاک را از نظر انرژی الکترومغناطیسی اندازه‌گیری می‌کند. هدایت اندازه‌گیری شده تحت تأثیر میزان رطوبت، شوری خاک (فصل ٤-٥ را مشاهده کنید) و مقدار و نوع رس درداخل خاک است. این روش به‌طور موفقیت‌آمیزی برای تهیه‌ی نقشه عمق و ضخامت افق‌های سخت لایه رسی در مناطق مرطوب، و بررسی آلایش آب زیرزمینی و شوری در مناطق خشک مورد استفاده قرارگرفته است.

جدول ۱-۹ تشریح شاخص خاکرخ (با افق‌های تشخیصی رده‌بندی)

طبقه‌بندی خاک موقعیت پدون تشریح شده			Typic Argiudolls, Saybrook Series در ۷۹ متری غرب و ۳۷۵ متری جنوب گوشه‌ی شمال شرقی- بخش ۹ نقشه شهری ۱۷N دامنه‌ی ۷E
افق های مشخص شده	افق تشخیصی	مرز افق‌ها یا نیمرخ	تشریح افق‌ها
Ap	افق مالیک	۰-۲۰	لوم سیلتی، قهوه‌ای بسیار تیره (۱۰YR ۲/۲)، با رنگ خشک قهوه‌ای خاکستری تیره (۱۰YR ۴/۲)، با ساختمان خاکدانه‌ای متوسط نسبتاً قوی،ترد و شکننده، با مقدار متوسط ریشه‌های ریز، اسیدی متوسط، و با مرز صاف و تیز
A		۲۰-۳۶	لوم سیلتی قهوه‌ای بسیار تیره (۱۰YR ۲/۲)، با رنگ خشک قهوه‌ای خاکستری تیره(۱۰YR ۴/۲)، ساختمان فندقی متوسط ضعیف که به ساختمان خاکدانه‌ای متوسط نسبتاً قوی تبدیل می‌شود، ترد و شکننده، ریشه‌های نسبتاً زیاد ریز، کمی اسیدی با مرز آشکار صاف
Bt1		۳۶-۵۶	لوم رسی سیلتی قهوه‌ای زرد تیره(۱۰YR ۴/۴)، ساختمان فندقی متوسط نسبتاً قوی، ترد شکننده، با ریشه‌های اندک ریز، با پوشش رسی زیاد مشخص با رنگ قهوه‌ای بسیار تیره(۱۰YR ۲/۲)، بر روی سطوح خاکدانه، کمی اسیدی، مرز آشکار صاف
Bt2	افق ارجلیک	۵۶-۷۶	لوم رسی سیلتی قهوه‌ای زرد تیره(۱۰YR ۴/۲)، ساختمان فندقی متوسط نسبتاً قوی، ترد شکننده، ریشه‌های اندک ریز با پوشش رسی زیاد مشخص دارای رنگ قهوه‌ای تیره (۱۰YR ۳/۳)، برروی سطوح خاکدانه‌ها، کمی اسیدی، مرز آشکار صاف
2Bt3		۷۶-۹۱	لوم رسی قهوه‌ای تیره (۷/۵YR ۴/۴)، ساختمان فندقی متوسط ضعیف، ترد شکننده، ریشه‌های اندک ریز با پوشش رس کم مشخص با رنگ (قهوه‌ای تیره (۷/۵YR ۲/۴)، بر روی سطوح خاکدانه، خنثی، مرز آشکارصاف
2C		۹۱-۱۵۲	لوم قهوه‌ای (۷/۵YR ۴/۵)، ساختمان متراکم، ترد شکننده، تراکم اندک اکسیدهای آهن و سنگ‌ریزه تیره، تعدادی اندک قلوه سنگ، جوشش شدید، نسبتاً قلیایی

[1] -Ground Penetrating radar(GPR)
[2] -Electromagnetic induction





شکل ۷-۱۹ استفاده از رادار نفوذکننده در خاک (GPR) برای بررسی عمق تا یک لایه زیرسطحی متفاوت. (چپ) رود می‌سی‌سی‌پی در طغیان بزرگ سال۱۹۹۳ برروی اراضی حاصلخیز زراعی رسوبات درشت شن را در لایه‌های با ضخامت چند سانتی‌متر تا یک متر به‌جای گذاشت. برای تعیین این‌که در کجا لایه شن دارای ضخامت کم است تا بتوان آن‌را با شخم با لایه‌های پایین مخلوط کرد، وسیله‌ی GPR برروی زمین کشیده می‌شود. وسیله در قسمت عقب عکس یک وسیله‌ی القایی الکترومغناطیسی (EM) است. در قسمت راست حاصل یک GPR است که در مطالعه دیگری به‌کار رفته است، که نشان‌دهنده‌ی عمق تا رسیدن به افق Bt در دوخاک در ایالت فلوریدا می‌باشد.علایم GPR به‌تغییرات خصوصیات خاک از شن درشت در افق‌های بالایی و رس در افق Bt بسیار حساس است. در قسمت چپ نمودار، شن‌های ضخیم سری چندلر است که یک خاک Quartzipsamment بدون افق ارجلیک در ۲ متری فوقانی می‌باشد. در سمت راست نمودار افق Bt خاک سری اپوپکا Paleudult می‌تواند به‌وضوح مشاهده گردد. مرز بین دو خاک تدریجی است اما می‌تواند در وسط نمودار مشخص شود. فاصله در سرتاسر نمودار ۱۴۰ متر است

باید تذکر داد که این روش‌های الکترونیکی بررسی‌های خاک هنوز از قفسه‌ی فناوری بیرون نیامده و برای همه‌کس و همه‌جا قابل‌استفاده نمی‌باشد، اما باید به‌وسیله‌ی استفاده‌کننده برای هر موقعیت سازگار شود. استفاده‌کننده ابتدا باید رابطه‌ی بین خصوصیات خاک موردنظر و علایم الکترونیکی را که به‌وسیله‌ی ابزار ثبت می‌شود، به‌طور کمّی مشخص کند. ممکن‌است یک برنامه رایانه‌ای مناسب برای تجزیه‌وتحلیل اطلاعات موردنیاز باشد. وقتی این فناوری سازگار شود، می‌تواند اطلاعات جامعی را درمورد چهره‌های سطحی فراهم نموده و کمک بزرگی در تعیین موقعیت مرزهای خاک برروی نقشه‌های تفصیلی باشد

نظام مکان‌یابی جهانی[1]

یک پیش‌نیاز آشکار برای ترسیم و تعیین موقعیت خاک در صحرا این است که تهیه‌کنندگان نقشه خاک بدانند که هنگام پیمایش یک زمین‌نما خود در کجا قرار دارند. به‌طور سنتی، تهیه‌کنندگان نقشه، از نقشه‌های پایه‌ی مقیاس بزرگ و یا عکس‌های هوایی(فصل ۵-۱۹ را مشاهده کنید) برای مشخص‌کردن موقعیت استفاده کرده‌اند. هرچند در یک زمین تقریباً بدون عوارض، و یا منطقه با پوشش گیاهی خیلی سنگین، این وسایل دارای استفاده محدود می‌باشند. خوشبختانه، تهیه‌کنندگان نقشه خاک حال می‌توانند از فناوری ماهواره‌ای برای تشخیص دقیق موقعیت‌ها در هر جای جهان استفاده کنند.

[1] -Global Positioning System (GPS)

وقتی وزارت دفاع امریکا اخیراً نظام مکان‌یابی جهانی (جی‌پی‌اس)خود را برای استفاده‌ی غیرنظامی آزاد کرد، فرصت‌هایی برای کاربرد در تهیه نقشه و سایر بررسی‌های خاک در صحرا فراهم گردید (تابلو ۱-۱۹). جی‌پی‌اس شامل شبکه‌ای از ماهواره‌های موجود در مدار زمین است که به‌طور مداوم علائمی را انتقال می‌دهند که می‌توانند برای تعیین طول جغرافیایی (جهت شرق و غرب) و عرض جغرافیایی (فاصله شمال و جنوب از استوا) برروی زمین مورد استفاده قرار گیرند.

برای استفاده از علایم شبکه‌ی ماهواره‌ای شخص یک دریافت‌کننده جی‌پی‌اس غیرنظامی با خود حمل می‌کند که ممکن‌است به اندازه یک تنظیم‌کننده‌ی کوچک از راه دور تلویزیون باشد. حداقل دو و ترجیحاً سه و چهار ماهواره‌های جی‌پی‌اس باید در تماس با دریافت‌کننده باشند تا او را قادر سازد که موقعیت خود را محاسبه کند (شکل ۸-۱۹ را مشاهده کنید). مختصات داده‌شده به‌وسیله‌ی دریافت‌کننده جی‌پی‌اس بعداً برای هر نقطه خاک مطالعه شده، به نقشه‌های پایه منتقل می‌شود.

۱۹-٤ ادوات سنجش از راه دور برای بررسی‌های خاک‌شناسی

سنجش از راه دور بیانگر جمع‌آوری اطلاعات از یک فاصله است. با این مفهوم عمومی ما هر بار که از چشمان خود برای مشاهده یک جسم از فاصله‌ای استفاده می‌کنیم به‌جای آن‌که آن شئ را با دستان خود بلند کرده و آن‌را حس کنیم یک سنجش از دور را انجام داده‌ایم، وقتی یک شئ را مورد نظاره قرار می‌دهیم، مغز ما یک تصویر ذهنی را در پاسخ به انرژی نوری منعکس‌شده از شئ به چشم ما تشکیل می‌دهد. در یک حالت مشابه، یک تصویر عکس و یا شماره‌ای می‌تواند به‌وسیله‌ی حسگرها (مانند دوربین عکاسی) موجود بر روی یک سکو (یک هواپیما، ویا یک ماهواره فضایی) که یک نقطه‌ی بسیار مناسب را برای مشاهده بخش به‌خصوصی از منطقه فراهم می‌نماید، ایجاد کند. درحالی‌که چشمان ما فقط به انرژی برگشت‌یافته با طول‌موج‌های در دامنه قابل مشاهده پاسخ نشان می‌دهند، سایر حسگرها می‌توانند تصویرهایی را از طول‌موج‌های انرژی دیگر مانند مادون‌قرمز ارایه دهند. ما به‌طور مختصر چندین نوع از تصاویر و استفاده از آن‌ها را در مطالعات جغرافیایی خاک‌ها مورد تشریح قرار می‌دهیم. عکس‌های هوایی و سایر تصاویر که اکثر مناطق را در آمریکا و جهان پوشش داده‌اند، از طریق تعدادی از بنگاه‌های دولتی و شرکت‌های خصوصی در دسترس می‌باشند(جدول ۲-۱۹).

جدول ۲-۱۹ صورت جزیی از منابع تصاویر سنجش از راه دور. بسیاری از منابع قابل ارزش دیگر موجود بوده و ممکن‌است محصولات و خدماتی به همین خوبی را ارایه کنند.

نوع تصاویر	منبع	نشانی
عکس‌های هوایی	اداره‌ی مدیریت اراضی	BLM – Denver Service Center. Division of Technical Services,Bldg.46.P.O.Box 25047 Denvar , CO 80225
	مطالعات زمین‌شناسی آمریکا	EROS Data Center. Sioux Falls SD 57198
	اتحادیه WAC	520 Conger Street Eugene , OR 97402 - 2795
	USDA/ASCS	Aerial Photography , P.O. Box3010 Salt Lake City , UT 84130
تصاویر Land sat	تصاویر فضایی L.P.	4300 Forbes Boulevard Lanham , MD 20706 18002329037
	اتحادیه‌ی ماهواره‌های زمین	6011 Executive Blvd , Suite 400 Rockville , MD 20852
تصاویر SPOT	اتحادیه تصاویر SPOT	1897 Preston White Drive Reston , VA 22091 Phone. (703) 620-2200
تصویر راداری	Radarsat Internetional	Building D, Suite 200 3851 Shell Road Richmond , BC V6X2W2 , Canada
اطلاعات ارتفاعی عددی زمینی	اداره‌ی تصاویر و نقشه‌های کشوری وزارت دفاع	WebSite : http ://WWW.nima. mil

تابلو ۱-۱۹ استفاده از نظام مکان‌یابی جهانی برای تهیه نقشه اطلاعات خاک‌ها

شبکه‌ای از ۲٤ ماهواره نظام مکان‌یابی جهانی (جی‌پی‌اس)، به‌وسیله‌ی وزارت دفاع امریکا برای ناوبری هواپیماهای نظامی و کشتی‌ها در طول دهه‌ی ۱۹۸۰ تکامل یافت. این نظام حال می‌تواند به‌وسیله‌ی غیرنظامی‌ها، تقریباً در همه‌ی جهان، برای تعیین موقعیت دقیق آن‌ها، تقریباً فوری مورد استفاده قرار گیرد. ماهواره‌های جی‌پی‌اس حدود ۲۰۰۰۰ کیلومتر در بالای زمین در حالت‌های دقیق چنان تنظیم شده‌اند که حداقل ٤ ماهواره اطلاعات را به‌طور همزمان به هر نقطه در روی کره زمین پخش می‌کنند. گروه ماهواره‌ها در ارتباط با دریافت جی‌پی‌اس منظومه‌ی ماهواره‌ها[1] نامیده می‌شوند.

یک ساعت الکترونیکی در دریافت‌کننده جی‌پی‌اس، زمان لازم را برای دریافت علایم رادیویی از هر ماهواره به آن نقطه اندازه می‌گیرد. با توجه به این‌که علایم با سرعت نور حرکت می‌کنند دریافت‌کننده می‌تواند فاصله را تا هر ماهواره (فاصله مساوی‌است با سرعت × زمان) محاسبه کند. یک دریافت‌کننده که مثلاً در ۲۰۲۰۰کیلومتری ماهواره‌ای خاص قرار گرفته است، باید در جایی برروی سطح یک کره فرضی قرار داشته باشد که مرکز آن در فرستنده‌ی ماهواره و دارای قطر ۲۰۲۰۰ کیلومتر باشد. اگر همان دریافت‌کننده همچنین در فاصله‌ی ۲۰۷۰۰ کیلومتری از ماهواره‌ی دوم قرار داشته باشد همچنین باید درجایی درسطح کره‌ی دوم با قطر۲۰۷۰۰ کیلومتر قرار داشته باشد. هندسه‌ی ساده به ما می‌گوید که چهارنوع از این کره‌ها می‌توانند فقط دریک نقطه در جهان باهم تلاقی کنند(شکل۸-۱۹ الف). آن نقطه محل دقیق دریافت‌کننده است.

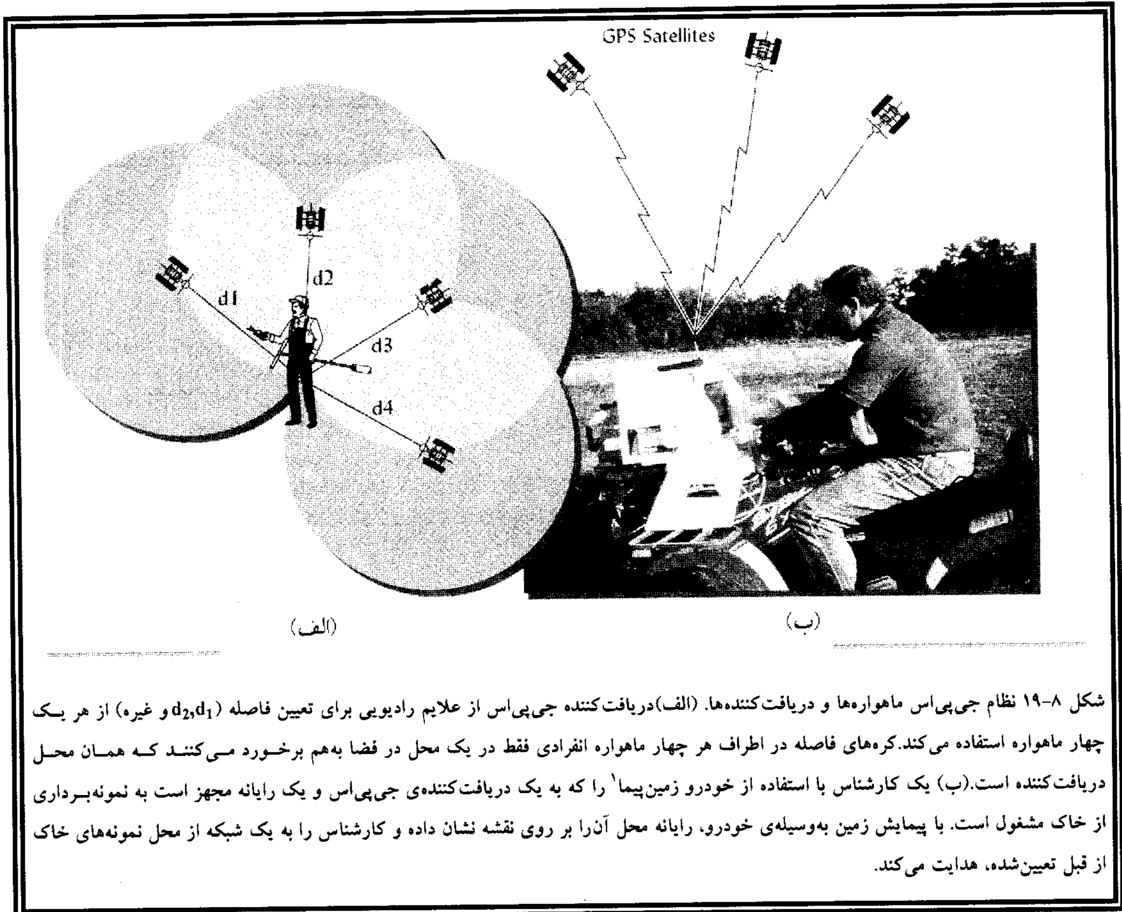
از آن‌جاکه ساعت تنظیم‌شده ماهواره به‌دقت معلوم نیست (بخشی به‌علت انحراف ایجادشده به‌وسیله‌ی وزارت دفاع آمریکا برای حفظ تفوق بر مخالفان بالقوه است) صحت همیشه بهینه نیست. یک روش اصلاح شامل نصب یک دریافت‌کننده‌ی ثابت در فاصله‌ی به‌دقت شناخته‌شده برروی ساختمان‌های بلند و یا سیلوهای مزارع می‌باشد. دریافت‌کننده‌های متحرک، از اطلاعات انتشاریافته دریافت‌کننده ثابت برای اندازه‌گیری خطا در هر ساعت ماهواره‌ای استفاده می‌کند. سایر علایم اصلاحی تفاضلی از دولت و منابع تجاری که از برج‌های رادیویی FM برنامه پخش می‌کنند، قابل‌استفاده‌اند. بدون این اصلاحات، دریافت‌کننده‌های دستی ساده می‌توانند موقعیت نقاط را در فاصله‌ی ۱۰ تا ۲۰ متر از محل واقعی آن تعیین کند. با انجام این اصلاحات حتی جی‌پی‌اس‌های کوچک ارزان‌قیمت می‌توانند موقعیت نقاط را در فاصله ۱ تا ۵ متر از محل واقعی تعیین کنند، دریافت‌کننده‌های خیلی کامل‌تر می‌توانند موقعیت را حتی در فاصله چندسانتی‌متری تعیین کنند.

این فناوری می‌تواند در تهیه نقشه‌های خاک مورد استفاده قرار گرفته و به دانشمندان خاک در مزارع امکان دهد که مختصات دقیق هر مشاهده را ثبت کنند. ممکن‌است نقشه‌ی اطلاعات خاک تهیه شده، نام واحد نقشه رده‌بندی خاک (در مطالعات خاک‌شناسی)، و یا ممکن‌است یک خصوصیت اندازه‌گیری‌شده خاک مانند میزان ماده‌ی آلی و یا قابلیت استفاده عناصر غذایی باشد. در مورد آخر، نقشه‌های خاک ممکن‌است به‌وسیله‌ی برنامه‌های رایانه‌ای آمار زمینی[2] که مقادیر خصوصیت خاک مورد نظر را در تمام نقاط در بین نقاط واقعی نمونه‌برداری برآورد می‌کنند، تهیه گردند.

در آن‌چه بعضی مواقع کشاورزی دقیق (فصل ۱۹-۱٦ را مشاهده کنید) نامیده می‌شود، یک دریافت‌کننده‌ی جی‌پی‌اس تنظیم شده بر روی ادوات پخش‌کننده‌ی کود شیمیایی درحال حرکت میزان استعمال کودشیمیایی را مشخص می‌کند به‌طوری‌که مقدار و نوع کود مصرف‌شده با توجه به وضعیت عناصر غذایی و میزان تقاضای نبات که در هر بخش کوچک از مزرعه متفاوت است، متناسب باشد (شکل۹-۱۹). هنگام برداشت، یک دریافت‌کننده‌ی جی‌پی‌اس و یک وسیله‌ی خاص نظارت بر عملکرد، می‌تواند برای تهیه یک نقشه تفصیلی از عملکرد واقعی محصول(شکل ۹-۱۹الف را مشاهده کنید) مورداستفاده قرار گیرند. این نقشه‌های عملکرد محصول، درتعیین مناطقی که در آن‌ها خصوصیات خاک مانند زه‌کشی ضعیف، ماده آلی کم و یا کمبود عناصر غذایی موجود است (البته تغییرات عملکرد ممکن‌است مربوط به عوامل غیرخاکی مانند نوع بذر کاشته‌شده، امراض، حشرات و یا چرای گوزن‌ها نیز باشد) می‌توانند بسیار مفید باشند.

---

1 -Satellite Constellation
2 -Geostatical Computer Programs



شکل ۸-۱۹ نظام جی‌پی‌اس ماهواره‌ها و دریافت‌کننده‌ها. (الف)دریافت‌کننده جی‌پی‌اس از علایم رادیویی برای تعیین فاصله (d_2,d_1 و غیره) از هر یک چهار ماهواره استفاده می‌کند.کره‌های فاصله در اطراف هر چهار ماهواره انفرادی فقط در یک محل در فضا به‌هم برخورد می‌کنند که همان محل دریافت‌کننده است.(ب) یک کارشناس با استفاده از خودرو زمین‌پیما[1] را که به یک دریافت‌کننده‌ی جی‌پی‌اس و یک رایانه مجهز است به نمونه‌برداری از خاک مشغول است. با پیمایش زمین به‌وسیله‌ی خودرو، رایانه محل آن‌را بر روی نقشه نشان داده و کارشناس را به یک شبکه از محل نمونه‌های خاک از قبل تعیین‌شده، هدایت می‌کند.

۵-۱۹ عکس‌های هوایی

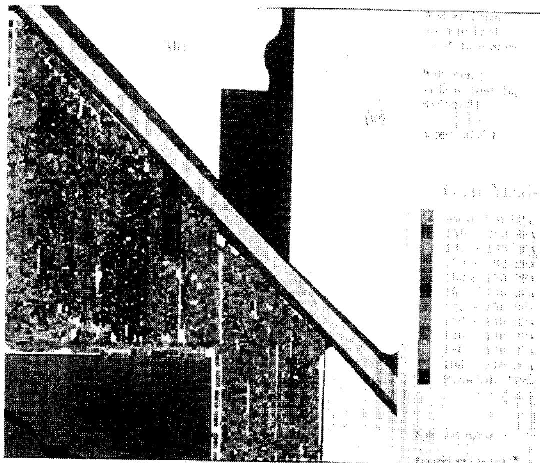
اکثر عکس‌های هوایی از فیلم‌های عکاسی پانکروماتیک سیاه‌وسفید ساخته می‌شوند که دامنه‌ای از طول‌موج نور را که در ارتباط نزدیک با طیف موج قابل رؤیت با چشم‌های ما است، ثبت می‌کنند. عکس تولیدشده سیاه‌وسفید بوده و یا دقیق‌تر بگوییم شامل سایه‌های بسیاری از خاکستری می‌باشد. عکس‌های هوایی سیاه‌وسفید می‌توانند گنجینه‌ای از اطلاعات را درمورد اشکال اراضی، پوشش گیاهی، اثرات انسان‌ها و خاک‌ها ارایه دهند. اما برای تشخیص سایه‌های خاکستری مختلف و شیوه‌های مختلف سایه به‌عنوان انواع مختلف پوشش، حالت زه‌کشی و خاک تجربه لازم است.

سایر فیلم‌ها، مانند رنگ طبیعی و یا مادون‌قرمز نیز برای عکس‌برداری هوایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. چاپ سیاه‌وسفید از عکس‌های مادون‌قرمز معمولاً به‌وسیله‌ی مدیران جنگل مورد استفاده است، زیرا سوزن‌های درختان سوزنی‌برگ انرژی مادون‌قرمز را بسیار کامل‌تر از برگ سخت‌چوب‌ها جذب می‌کنند و سبب می‌شود سوزنی‌برگ با سایه تیره‌تر خود برروی عکس به آسانی تشخیص داده شود.

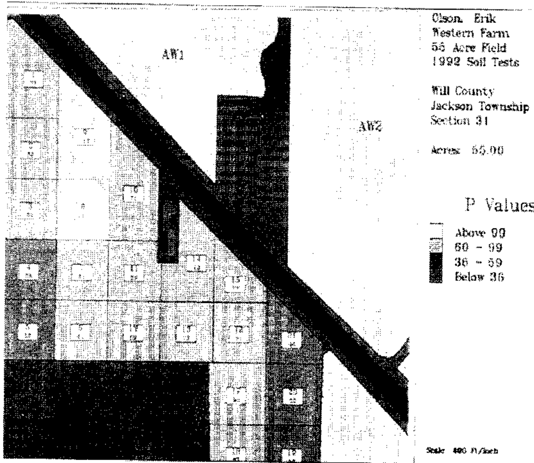
از سال ۱۹۳۵، عکس‌های هوایی برای افزایش سرعت و صحت ایجاد نقشه‌های خاک مورداستفاده بوده‌اند. این عکس‌ها به محققین خاک حداقل از سه‌طریق کمک می‌کنند: (۱) تهیه‌ی نقشه‌ی پایه (۲) به‌عنوان منبعی از اطلاعات تلویحی، (۳) سنجش مستقیم خصوصیات خاک.

عکس‌های هوایی به‌عنوان نقشه‌های پایه: یک عکس هوایی تفصیلی به دانشمند خاک اجازه می‌دهد موقعیت خود را در صحرا در ارتباط با چهره‌هایی مانند ساختمان‌ها، جاده‌ها و رودخانه‌ها که هم بر روی عکس و هم برروی زمین قابل مشاهده می‌باشند، مشخص کنند. به‌عوض استفاده از تجهیزات نقشه‌برداری و میز نقشه‌کشی برای تهیه نقشه از کاغذ سفید، دانشمندان خاک می‌توانند مرزهای خاک را مستقیماً برروی عکس هوایی ترسیم کنند. در این مورد عکس همانند یک نقشه پایه عمل می‌کند.

[1] -All – terrain vehicle



(الف)



(ب)



(ج)

شکل۹-۱۹ استفاده از فناوری جی‌پی‌اس در کشاورزی دقیق و یا کشاورزی خاص موردی.(الف)این نقشه‌ی عملکرد ذرت در کل مزرعه ذرت ۲۲ هکتاری به‌وسیله‌ی یک ماشین برداشت که مجهز به نظاره‌گر عملکرد جی‌پی‌اس بود تهیه شده است. هر نقطه برروی نقشه با ثبت عملکرد ذرت به‌وسیله‌ی نظاره‌گر در هر چند متر که ماشین به بالا و پایین مزرعه حرکت می‌کند، ایجاد شده است. اندازه‌گیری هر عملکرد با یک نقشه موقعیت که به‌وسیله‌ی جی‌پی‌اس تهیه شده بود همراه است(ب) نقشه‌ای از همان مزرعه که فسفر قابل استفاده را در نمونه‌های جمع‌آوری شده از واحدهای یک هکتاری، که به‌وسیله‌ی جی‌پی‌اس جایابی شده است، نشان می‌دهد.(ج)یک نظام رایانه‌ای در تلفیق با جی‌پی‌اس در یک تراکتور که کود را در مزارع مختلف پخش می‌کند. صفحه رایانه یک نقشه که وضعیت فعلی تراکتور را در مزرعه مشخص کرده و محل مصرف مقادیر مختلف کود را نشان می‌دهد.

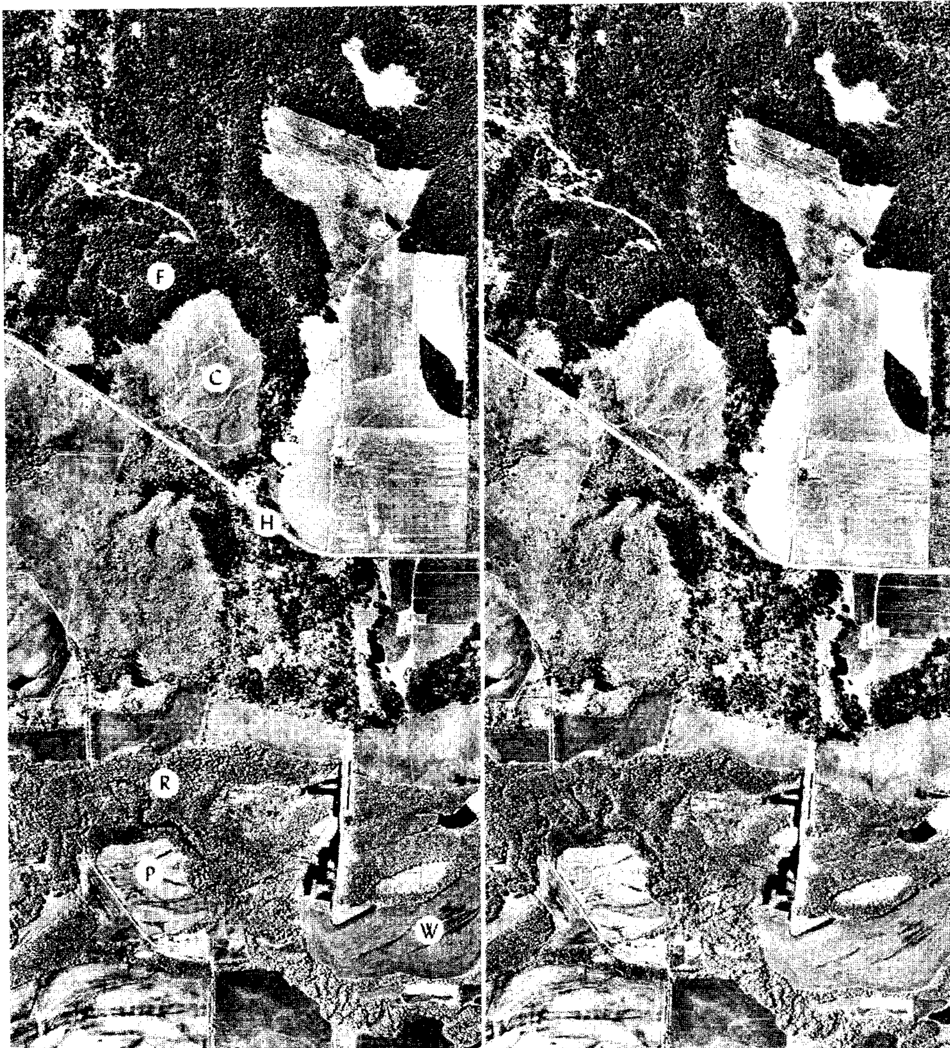
باید اشاره کرد که عکس‌های هوایی تصحیح‌نشده به شدت انحراف دارند، زیرا مناطقی که در نزدیکی حاشیه عکس قرار دارند، به‌مراتب دورتر از دوربین قرار دارند تا مناطقی که مستقیماً در زیر هواپیما قرار گرفته‌اند. همچنین، در اراضی تپه ماهور و کوهستانی رأس تپه‌ها و کوه‌ها درمقایسه با دره‌ها نزدیک‌تر به دوربین می‌باشند. یک عکس هوایی قائم (دارای مقیاس یکسان[1]) عکس‌هایی هستند که این دو نوع انحراف در آن‌ها تصحیح شده است. در اکثر مطالعات خاک‌شناسی انتشاریافته عکس‌های هوایی قائم به‌عنوان نقشه‌های پایه مورد استفاده قرار گرفته، و مرزهای خاک برروی آن ترسیم می‌شود.

عکس‌های هوایی به‌عنوان اطلاعات تلویحی[2] : بررسی‌های خاک‌شناسی معمولاً در ارتباط با چهره‌های خاکرخ و سایر اطلاعات زیر سطحی است. هرچند عکس هوایی انرژی تابشی انعکاس‌یافته از سطوح بالای زمین و یا در بهترین حالت چند سانتی‌متری فوقانی زمین را ثبت می‌کند با این وصف سایه‌ی سطح با شیوه و یا چهره‌های نشان‌داده برروی عکس‌های هوایی اغلب در ارتباط با شرایطی زیرسطحی

---

1 -Orthophotograph
2 -Proxy information

است. وقتی دانشمند خاک یاد گرفت که این روابط چگونه هستند، عکس‌های هوایی می‌توانند به‌عنوان منبع اطلاعات تلویحی از شرایط خاک، مورد استفاده قرار گیرند.



شکل ۱۰-۹ یک زوج استریوسکوپی عکس‌های هوایی که دارای هم‌پوشانی هستند از یک زمین‌نما دره ولمت در غرب ایالت اورگُن. خاک‌ها اکثراً هومولت[1] و زرول[2] می‌باشند. عکس چپ و راست همان منطقه را نشان می‌دهند اما وقتی هواپیما در دو موقعیت متفاوت بوده است عکس‌برداری شده‌اند. اگر یک استریوسکوپ جیبی را بر روی این عکس‌ها قرار دهید با گول‌زدن چشم‌ها دو منظره را از همان زمین‌نما به صورت سه‌بعدی نشان می‌دهند. به جنگل‌های سوزنی‌برگ (F) در زمین‌های پرشیب در ۳/۱ فوقانی عکس برروی بزرگراه (H) توجه کنید که شامل یک منطقه گرد جنگل‌تراشی‌شده (سایه‌های خاکستری متوسط C)) به‌انضمام شبکه‌ای از جاده‌های حمل الوار[3] (خطوط سفید به‌انضمام گره‌ها که مشخص‌کننده‌ی اراضی مسطحی است که در آن‌ها الوارها برروی کامیون سوار می‌شده‌اند) در ۳/۱ پایین عکس اراضی یک دره رودخانه‌ای مسطح است و نقطه‌های مرطوب (W) در اراضی کشاورزی مشاهده می‌شوند و یک رود پیچان[4] (R) می‌تواند در ۴/۱ پایین عکس مشاهده گردد حالت‌های خاک‌های آبرفتی در سیلدشت (P) مشخص است. اختلاف خاک‌ها به‌صورت سایه‌های خاکستری تیره در مزارع، که شخم خاک لخت را آشکار کرده است، قابل مشاهده است. مقیاس عکس ۱:۱۰۰۰۰۰ است.

---

[1] -Humults
[2] -Xerolls
[3] -Logging road
[4] -Meandering river

برای مثال، عکس‌هایی هوایی مستقیماً عمق سطح ایستابی را نشان نمی‌دهند، اما سایه‌های[1] سیاه بیانگر خاک سطحی مرطوب غنی از ماده‌ی آلی بوده که ممکن‌است با سطح ایستابی کم‌عمق فصلی در ارتباط باشد. اگر دانشمند خاک بداند که یک نوع خاک به‌خصوص در مسیرهای زه‌کشی طبیعی وجود دارند، آن‌وقت مسیرهای زه‌کشی قابل‌مشاهده به‌وسیله‌ی حالت‌های سایه‌ی خاکستری تیره برروی عکس هوایی به‌عنوان یک نشانه برای حفر خاکرخ و یا محل مته عمل می‌کند، زوج‌های استریوسکوپی عکس‌های هوایی(شکل ۱۰-۱۹) به نظاره‌گر یک منظره سه‌بُعدی از سطح اراضی (اما با بُعد قائم اغراق‌آمیز است) ارایه می‌دهد، و به‌خصوص در جایابی مسیرهای زه‌کشی، بریدگی شیب و سایر چهره‌های پستی‌وبلندی مفیدند. این چهره‌ها خود در تعیین محل خاک‌ها به‌عنوان عضوی از خاک مجموعه‌ها و کاتنای زه‌کشی کمک می‌کنند.

پوشش گیاهی معمولاً نشانه‌هایی را از خاک‌های زیرین ارایه می‌دهند. برای مثال، ممکن‌است یک نوع پوشش خاص که برروی عکس هوایی قابل‌تشخیص است فقط در خاک‌های اراضی سدیمی دارای افق ناتریک رشد کنند. بنابراین، نوارهایی از این پوشش گیاهی برروی عکس‌های هوایی مشخص‌کننده محل خاک‌های سدیمی می‌باشند.

شیوه‌های زه‌کشی قابل‌مشاهده برروی عکس‌های هوایی معمولاً بیانگر سرشت خاک‌ها و مواد مادری می‌باشند. برای مثال، بسیاری از خندق‌ها و رودخانه‌های نزدیک به‌هم (با فاصله کمتر از ۱ سانتی‌متر برروی عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰) بیانگر سنگ بستر نسبتاً غیرقابل‌نفوذ، ویا خاک‌های رسی با نفوذپذیری کم می‌باشند. مثال دیگر خاک‌هایی سیلتی تکامل‌یافته در لس معمولاً یک زه‌کشی پرمانند[2] تولید می‌کنند که در آن بسیاری از خندق‌های کوچک و رودخانه‌ها از رودخانه کاملاً مستقیم بزرگ‌تر در زوایای که کمی کمتر از ۹۰ درجه است منشعب می‌گردند.

این تفسیرها می‌تواند مطالعات خاک‌شناسی را با خذف نیاز به بررسی هر واحد نقشه برروی زمین تسریع کند. گرچه، روابط بین حالت‌های موجود بر روی عکس هوایی و خصوصیات خاک پس از انجام مطالعات زمینی در هر خاک مجموعه و یا نوع زمین‌نما باید برقرار گردد. روابط چنین تعیین شده فقط در زمین‌نماهایی با مساحت محدود معمولاً ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ کیلومترمربع صحیح می‌باشد.

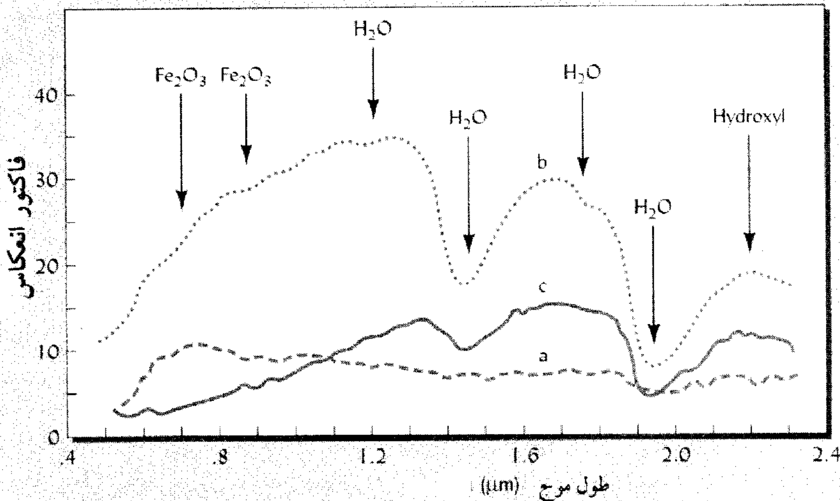
سنجش مستقیم خصوصیات خاک

خصوصیات خاک، به‌ویژه ۲ تا ۲۰ میلی‌متری فوقانی سبب تغییر حالت چگونگی انعکاس طول‌موج‌های مختلف انرژی تابشی به‌وسیله‌ی خاک سطحی می‌گردد (شکل ۱۱-۱۹ را مشاهده کنید). بنابراین، براساس نظارت به‌عمل آمده بر طول‌موج، تعدادی از خصوصیات خاک می‌توانند به‌طور مستقیم سنجش گردیده و ثبت گردند. خصوصیات خاک که به‌طور موفق‌آمیزی به‌وسیله‌ی سنجش از دور مشخص می‌شود، شامل میزان کانی موجود، بافت، میزان رطوبت خاک، میزان ماده‌ی آلی، میزان اکسید آهن، بازتاب (انعکاس کلی نور)، دما و ساختمان خاک می‌باشد. سنجش مستقیم خصوصیات خاک معمولا نیازمند سنجشگر از راه دور تنظیم شده در طول‌موج به‌خصوص و یک برنامه رایانه‌ای است که برای تفسیر اطلاعات مختلف طراحی شده باشد.

نمونه‌ای از تفسیر رایانه‌ای تجزیه‌وتحلیل تصاویر ویدیویی[3] است که در آن عکس‌های هوایی برای تشخیص ۲۵٦ نوع سایه‌های خاکستری (درمقایسه با چشم انسان که قادر به تشخیص ۳۲ عدد است) مورد آزمایش قرار می‌گیرد. این سایه‌های خاکستری و یا تُن (سایه‌ی) عکس، در ارتباط با تغییرات خاک وپوشش گیاهی است. با استفاده از فناوری‌های رایانه‌ای جدانمودن اختلافات خاک می‌توانند تحقق یابد. باید تکرار کرد که تفسیر اطلاعات سنجش‌شده از دور باید با رفتن به منطقه و استفاده از مته برای بررسی انواع خاک و مرزبندی آن‌ها با حقایق زمینی واسنجی گردد.

---

[1] -Tone
[2] -Pinnate drianage
[3] -Video Image Analysis (VAI)



شکل ۱۱-۱۹ منحنی‌های طیف نشان‌دهنده‌ی انعکاس طول‌موج‌های مختلف انرژی به‌وسیله‌ی سه نوع خاک. نوارهای جذبی آب زیاد و آهن (انعکاس کمتر) به‌وسیله‌ی پیکان‌ها نشان داده شده‌اند. میزان آهن زیاد در همبستگی با انعکاس کمتر در نوارهای مربوط به اکسیدهای آهن است، درحالی‌که ماده‌ی آلی زیاد سبب انعکاس کمتر در نوار هیدراکسیل می‌شود. خاک‌های معرفی‌شده عبارتند از: (الف) یک خاک **Typic Haplaquoll** دارای ۵/٦ درصد ماده‌ی آلی، ۰/۸درصد اکسید آهن و ٤۱ درصد آب؛ خاک (ب) یک **Typic Calcicambid**، با ۰/٦ درصد ماده‌ی آلی، ۰/۰۳ درصد اکسید آهن و۱۷ درصد آب؛ و خاک (ج) یک خاک **Typic Haplorthox** با ۲/۳ درصد ماده‌ی آلی، ۲٦ درصد اکسید آهن و ۳۳ درصد آب.

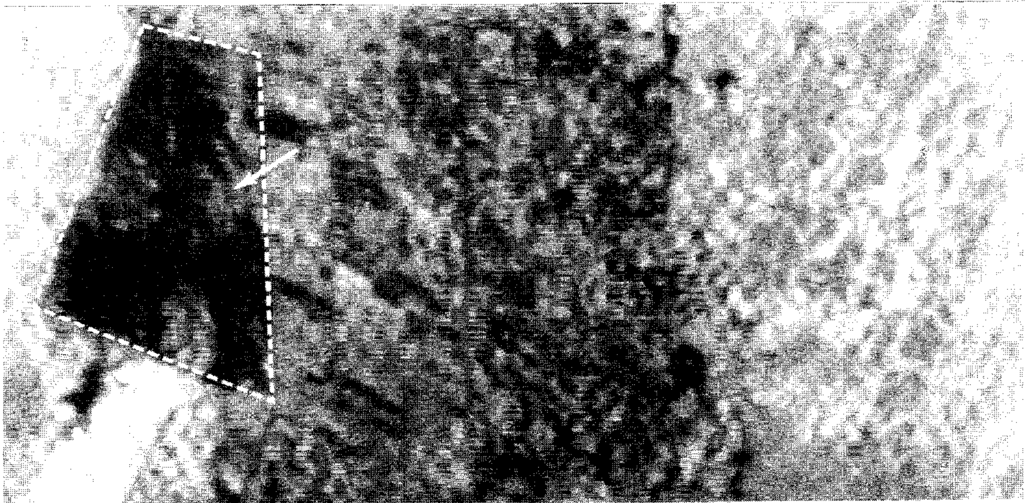
٦-۱۹ تصاویر ماهواره‌ای

بسیاری از اصول و فناوری‌های که هم‌اکنون درمورد عکس‌های هوایی مورد اشاره قرار گرفت، درمورد تصاویر ماهواره‌ای نیز صادق است. هرچند تصاویر ماهواره‌ای قابل‌استفاده از ماهواره‌های پیشرفته موجود در مدار زمین درمقایسه با انواع عکس‌های هوایی ذکرشده بسیار پیچیده و متنوع‌تر می‌باشند. اکثر تصاویر ماهواره‌ای از تجزیه‌وتحلیل رایانه‌ای اطلاعات عددی حاصل از اسکن‌کننده‌های چند نواری به جای دوربین‌های فیلمبرداری تولید می‌شود. تصاویر معمولاً با طبقه‌بندی هر سلول (پیکسل) تصویر در ارتباط با نوع پوشش، نوع خاک، نوع استفاده و یا موارد مشابه قابل بهترگشتن رایانه‌ای می‌باشند. این طبقه‌بندی براساس تشخیص رایانه‌ای شیوه و یا علایم تشخیص انعکاس پوشش سطح اراضی در طول‌موج‌های مختلف (همانند آن‌چه که در شکل ۱۱ – ۱۹ آمده است) می‌باشد. یک تصویر ممکن‌است اطلاعات سنجش‌شده به‌وسیله‌ی ابزارهای مختلف را حتی بعضی مواقع در تاریخ‌های مختلف باهم ادغام کند. دراین‌صورت ترکیب طیف می‌تواند برای تشخیص انواع پوشش‌ها، خصوصیات خاک، چهرهای کشت‌وکار آب و غیره مورد استفاده قرار گیرد.

قدرت تشخیص تصاویر ماهواره‌ای که امروزه موجود است به اندازه‌ی عکس‌های هوایی مقیاس درشت بالا نیست، اما طی سال‌ها مرتب بهبود یافته است. امروزه تصاویر با قدرت تشخیص ۱۰ متر در ماهواره‌های فرانسوی اسپات موجود است. شکل ۱۲-۱۹ بهبود قدرت تشخیص را بین فناوری‌های ماهواره‌ای لندست امروزی و اولیه تشریح می‌کند. تصویر قدیمی (در سال ۱۹۷۳) ایجادشده دارای قدرت تشخیص نسبتاً پایین ۸۰ متر است درحالی‌که تصاویر جدیدتر (از سال ۱۹۹۰) دارای قدرت تشخیص۳۰ متر می‌باشند. توجه کنید که قدرت تشخیص بالا سبب ایجاد یک تصویر روشن‌تر و با جزییات بیشتر می‌شود. اختلاف در قدرت تشخیص در تمیز نهرهای زه‌کشی (پیکان) در این منطقه خشک افغانستان آشکار است.

این زوج تصاویر لندست ظرفیت تصاویر چندطیفی را برای نمایش شرایط خاک مشخص می‌سازد. مواد مادری خاک منطقه به‌طور طبیعی از نظر نمک‌های محلول بالاست. وقتی آبیاری بدون زه‌کشی مناسب سبب بالاآمدن سطح ایستابی شد (دراثر سایه‌ی سیاه خاک مرطوب درسال ۱۹۷۳ آشکار است)، تبخیر از آب زیرزمینی سبب تجمع نمک‌ها در خاک‌های سطحی گردید (به‌وسیله‌ی خاک‌های سفید بایر در سال ۱۹۹۳ قابل‌مشاهده است). نبود مدیریت مناسب در نهرهای زه‌کشی ممکن‌است در ارتباط با تحولات سیاسی و مسائل جنگ باشد که در افغانستان در بین تاریخ تصاویر در جریان بوده است.

ظرفیت تصاویر ماهواره‌ای برای نشان‌دادن اشکال اراضی و پوشش گیاهی در طول یک منطقه‌ی وسیع در شکل ۱۳-۱۹ تشریح شده است این تصویر را به‌دقت موردبررسی قرار دهید. این یک عکس سیاه‌وسفید تکثیرشده از تصاویر رنگی کاذب لندست در دره‌ی پالوورده[1] است، که رود کلرادو مرز بین کالیفرنیا و آریزونا را تشکیل می‌دهد. تصویر ترکیبی از سه باند(نوار) طیفی مختلف می‌باشد. کوه‌های مضرس و آبرفت‌های بادبزنی در اطراف یک دره نسبتاً مسطح تحت آبیاری قابل مشاهده است زمین‌نمای خشک فی‌الواقع از پوشش گیاهی عاری می‌باشد به‌استثنای مزارع مستطیلی که در آن‌ها آب آبیاری مصرف می‌شود. دوایر کوچک در نصف بالای عکس نظام آبیاری گردان (سنتر پیوت[2]) که سبب ایجاد پوشش فراوان سبز (قرمز در تصویر اصلی) در مزارع دایره‌ای شکل تقریباً با قطر ۱ کیلومتر می‌شود به شبکه‌ی خیابان‌ها توجه کنید که شهر پالورده را در نزدیکی مرکز طرح آبیاری تشکیل می‌دهد.





شکل ۱۲-۱۹ نسخه‌ی سیاه‌وسفید دو تصویر رنگی کاذب ماهواره‌ای لندست که نشان‌دهنده‌ی بخشی از یک طرح آبیاری در مرجای غربی در افغانستان است. عکس بالایی یک تصویر چند نواری لندست است که در سال ۱۹۷۳ گرفته شده است؛ عکس پایین تصویر رقومی نقشه‌کش لندست می‌باشد که در سال ۱۹۹۰ برداشت شده است. هر تصویر از سه باند طیفی استفاده کرده است، سایه‌های سفید شدیداً انعکاس یافته بیانگر اراضی بایر شور می‌باشد. اراضی سیاه‌رنگ بیانگر زراعت‌های آبی است که اشباع از آب می‌باشند. سایه‌های متوسط خاکستری (در تصویر اصلی قرمز) بیانگر اراضی آبی با زه‌کشی مناسب است. این طرح در سال ۱۹۷۳ مساحتی در حدود ۱۰۰۰ هکتار (محدوده مشخص شده است) داشته است، که به‌نظر می‌رسد زیر کشت‌وکار باشد اما احتمالاً به علت بسته‌بودن خروجی زه‌کش‌ها از آب اشباع شده است. به نظر می‌رسد که همان منطقه در سال ۱۹۹۰ شور شده و متروکه گردیده است.

---

[1] -Paloverde

[2] -Center – pivot Irrigation system

تصویر بخش مستطیلی مشخص‌شده در دره‌ی پالورده به‌صورت تابلو رنگی ۳۵ بزرگ شده‌است. مطالب زیادی را می‌توان با بررسی دقیق این تابلو رنگی یاد گرفت. به رنگ‌های متفاوت آبی- خاکستری، که بیانگر اختلافات قابل‌مشاهده خاک از مزارع بایر است توجه کنید. اراضی با رنگ قرمز روشن بیانگر زراعت‌های متراکم‌تر است، خطوط مواج قرمز به‌طرف شرق رود کلرادو بیانگر پوشش طبیعی و گیاهانی است که در آبکندها و مسیرهای زه‌کشی روییده‌اند و آب کمی را در این منطقه خشک جمع‌آوری می‌کنند. بسیاری از مناطق بایر که به‌وسیله‌ی خطوط زرد مشخص شده‌اند به این تصاویر در یک برنامه GIS افزوده شده‌اند. قطعات با خطوط زرد مشخص شده، آن اراضی می‌باشند که شهر لوس‌آنجلس به مالکان آن‌ها درمقابل بایرگذاشتن آن‌ها پول داده است تا شهر بتواند آب لازم خود را بدون مصرف آن‌ها برای آبیاری به‌دست آورد. تصویر ماهواره‌ای برای کسب اطمینان از اجرای قرارداد به‌وسیله‌ی بهره‌بردارانی است که در این برنامه شرکت داشتند.

مثال آخر از تصاویر در تابلو رنگی ۳٤ نشان داده‌شده‌است که یک تصویر نقشه حوزه رودخانه پتامیک در جنوب ایالت واشنگتن‌دی‌سی می‌باشد که شامل بخش‌هایی از مریلند جنوبی و ویرجینیای شمالی است. چگونگی کاربری‌های عمده به روشنی قابل‌مشاهده است. اراضی شهری واشنگتن و حومه آن با سایه‌های آبی خاکستری نشان داده شده‌اند (اراضی عمارات کنگره‌ی ایالات متحده به صورت نقطه‌ی سفید قابل‌مشاهده است که با چمن‌های مربعی تیره احاطه شده‌اند). به‌نظرمی‌رسد مقدار زیادی رسوب (رنگ‌های زرد و قهوه‌ای) از رودخانه‌هایی که حومه‌های جنوبی شهر را تخلیه می‌کنند، وارد رودخانه پتامیک می‌شود، دلیل آن احتمالاً اداره‌ی ضعیف مناطق ساختمان‌سازی است. جنگل‌ها سبز به‌نظرمی‌رسند. اکثر مزارع زراعی زرد کم‌رنگ (ذرت و سویای رسیده) می‌باشند. اراضی با رنگ قرمز بیانگر هیستوسول‌ها و سایر خاک‌های مرطوب حاصل از باتلاق‌های جزرومدی در طول رودخانه پتامیک و مصّب رودخانه در خلیج چزاپیک است. خلیج خود به رنگ آبی تیره‌ی آب در منتهی‌الیه راست دیده می‌شود. تصویری چنین برای بررسی منابع و برنامه‌ریزی منطقه‌ای بسیار مفید است.

تعداد و فناوری تصاویر موجود برای تحقیقات خاک به‌سرعت درحال افزایش بوده، و چالش‌ها و امکاناتی را برای دانشمندان خاک، که دارای تخصص اطلاعات جغرافیایی در خاک هستند، فراهم می‌کند.

۱۹-۷ مطالعات شناسایی خاک

مطالعات شناسایی خاک به‌مراتب دارای اطلاعات بیشتری از یک نقشه‌ی خاک است. در فرهنگ لغات، مطالعات شناسایی خاک چنین تعریف شده است «آزمایش، تشریح، طبقه‌بندی و تهیه نقشه خاک یک منطقه به‌طور اصولی». درشرایط خاصی دانشمندان خاک مطالعات شناسایی خاک را با هدفی خاص انجام می دهند که‌درآن مرزبندی و تشریح پیکره‌ی طبیعی خاک موردنظر نبوده اما هدف اصلی آن‌ها تهیه‌ی نقشه توزیع جغرافیایی خصوصیات موردنظر خاک، مانند تناسب برای اجرای طرح‌های آبیاری ویا توافق برروی تعریف قانونی اراضی باتلاقی است.

مطالعات شناسایی خاک درصورت تشریح و مرزبندی پیکره‌های طبیعی خاک بسیار سودمندند. وقتی کالبدهای طبیعی خاک مشخص گردید و خصوصیات آن‌ها مورد تشریح قرار گرفت، مطالعات شناسایی خاک می‌تواند در تفسیر تناسب برای انواع کاربری‌ها، نه‌تنها آن کاربری که در آغاز مطالعات منظورنظر بوده، مورد استفاده قرار گیرند.

اقدامات اساسی برای انجام مطالعات شناسایی خاک به شرح زیر می‌باشد:

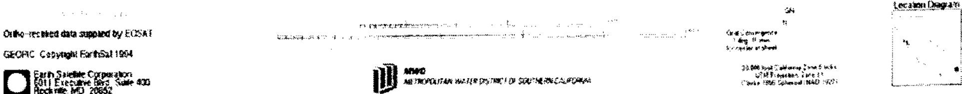
۱- تهیه نقشه خاک. که در بخش ۱-۱۹ تا ۳-۱۹ تشریح گردید.

۲- مشخص‌کردن واحدهای تهیه نقشه. بخش ۲-۱۹ را مشاهده کنید.

۳- طبقه‌بندی واحدهای تهیه نقشه. فصل ۳ و بخش ۲-۱۹ را مشاهده کنید.

۴- ایجاد همبستگی با سایر مطالعات شناسایی خاک. وقتی جمعی از دانشمندان خاک یک نقشه خاک را به اتمام می‌رسانند، این نقشه خاک به‌وسیله‌ی سایر دانشمندان خاک مورد ارزیابی قرار گرفته تا مشخص شود مرزهای خاک تعیین‌شده با مرز خاک‌ها در مناطق مجاور مطابقت می‌کند و مشخصات و طبقه‌بندی واحدهای نقشه با سایر مطالعات هماهنگی دارد.

۵- تفسیر تناسب خاک برای کاربری‌های مختلف. یک گزارش مکتوب با نقشه خاک برای تشریح تناسب هر واحد نقشه برای کاربری‌های مختلف همراه است. جدول تفسیری در گزارش بیانگر تجارب و مشاهدات چند ساله افراد و همچنین تفسیرهای استاندارد از خصوصیات اندازه‌گیری‌شده خاک می‌باشد.



شکل ۱۳-۱۹ نسخه‌ی سیاه‌وسفید از یک تصویر نقشه‌ی لندست از درّه تحت آبیاری پالوورده در مرزبین کالیفرنیا و اریزونا. تصویر ترکیبی از نوار ۲ (سبز) نوار ۳ (قرمز) و نوار ٤ (نزدیک مادون‌قرمز) می‌باشد. چهارگوش مشخص‌شده در تابلو رنگی ۳۵ تکثیر شده است.

ممکن‌است مطالعات شناسایی خاک درسطوح مختلف انجام گیرد، که از مطالعات خیلی تفصیلی که فی‌الواقع برای جداکردن هر نوع پیکره‌ی خاک در زمین‌نما (رده‌ی اول) تا مطالعات اجمالی عمومی از یک منطقه بزرگ ویا یک قاره (رده‌ی پنجم) متغییر می‌باشند. انواع مختلف واحدهای نقشه و منابع اطلاعات سنجش شده از دور برای رده‌های مختلف مطالعات خاک‌شناسی مورد استفاده‌اند (جدول ۳-۱۹).

مقیاس نقشه

مقیاس نقشه عبارت است از نسبت طول برروی نقشه بر طول واقعی برروی زمین، مقیاس ۲۰۰۰۰: ۱ معمولاً برای مطالعات تفصیلی به‌کار می‌رود که در آن یک سانتی‌متر برروی نقشه معادل ۲۰۰۰۰ سانتی‌متر (۰/۲ کیلومتر) برروی زمین است. مقیاس فاقد بُعد است، بنابراین، ۱ اینچ برروی همان نقشه بیانگر ۲۰۰۰۰ اینچ (۰/۳۱٦) مایل برروی زمین می‌باشد.

واژه‌های مقیاس بزرگ و مقیاس کوچک بعضی مواقع مردم را به اشتباه می‌اندازد. یک نقشه مقیاس کوچک نقشه‌ای است که دارای نسبت مقیاس کمتری است (برای مثال ۱۰۰۰,۰۰۰ : ۱ = ۰/۰۰۰۰۰۱) که در آن یک شئ مورد نظر مانند ۱۰۰ هکتار فقط نقطه‌ی کوچکی را شامل می‌شود. برعکس نقشه مقیاس بزرگ دارای نسبت مقیاس بزرگ‌تری است (برای مثال ۱۰۰۰۰ : ۱ = ۰/۰۰۰۱)، و ۱۰۰ هکتار بخش بزرگی از نقشه را شامل می‌گردد.

جدول ۳-۱۹ رده‌های مختلف مطالعات شناسایی خاک

ممکن است مطالعات شناسایی خاک در مقیاس‌های مختلف انجام شود، که از مطالعات تفصیلی قطعات کوچک اراضی تا مطالعات کلی مناطق وسیع متغیر می‌باشد. انواع مختلف واحدهای نقشه و اطلاعات سنجش‌شده از دور برای تولید رده‌های مختلف مطالعات خاک‌شناسی به‌کار می‌روند. راهنمایی‌های به‌عمل‌آمده در این جداول باید قابل انعطاف و تقریبی درنظر گرفته شوند.

رده‌ی مطالعات شناسایی خاک

	رده‌ی پنجم	رده‌ی چهارم	رده‌ی سوم	رده‌ی دوم	رده‌ی اول
نوع مطالعه	اجمالی	اجمالی	نیمه‌تفصیلی	تفصیلی	متمرکز
مقیاس مطالعه	۱ : ۲۵۰۰۰۰ ۱ : ۱۰۰۰۰۰۰۰	۱ : ۵۰۰۰۰۰ ۱ : ۳۰۰۰۰۰۰	۱ : ۲۰۰۰۰۰ ۱ : ٦۵۰۰۰۰	۱ : ۱۲۰۰۰۰ ۱ : ۳۲۰۰۰۰	۱ : ۱۰۰۰ ۱ : ۱۵۰۰۰۰
اندازه‌ی واحد نقشه	۲/۵ – ۵۰۰ کیلومتر مربع	۱۵ – ۲۵۰ هکتار	۱/۵ – ۱۵ هکتار	۰/۵ – ٤ هکتار	‹ ۰/۵ هکتار
اجزای واحد نقشه	راسته‌ها، زیرراسته‌ها و گروه‌های بزرگ	گروه‌های بزرگ، زیرگروه‌ها و خانواده‌ها	خانواده‌ها، سری‌ها و فازهای یک سری	سری‌ها، فازهای یک سری	فازهای یک سری
انواع واحد نقشه	خاک مجموعه‌ها[1] ، بعضی خاک مجموعه‌های همسان[2] و گروه‌های تفکیک نشده[3]	خاک مجموعه‌ها و بعضی خاک‌های مرکب[4] و خاک مجموعه‌های همسان	خاک مجموعه‌ها و یا مرکب با بعضی خاک مجموعه‌های همسان	خاک مجموعه‌های همسان و مرکب با اندکی خاک مجموعه‌ها	اکثراً خاک مجموعه‌های همسان با بعضی خاک‌های مرکب
منابع سنجش از دور	اطلاعات رقومی نقشه‌ی لندست اطلاعات رقومی تصویر اسپات عکس‌های هوایی مقیاس بالا عکس‌های هوایی مقیاس پایین				

استفاده از شناسایی خاک در برنامه‌ریزی اراضی	تعیین منابع	موقعیت‌یابی طرح	امکان اجرا	مطالعات مدیریتی

[1] -Soil association
[2] -Soil consociation
[3] -Undifferentiated groups
[4] -Soil complex

واحدهای نقشه[1]

رده‌بندی خاک (و یا سایر طبقه‌بندی‌ها، فصل ۳ را مشاهده کنید) معمولاً مبنای انجام یک مطالعه شناسایی خاک می‌باشد. از آن‌جاکه چهره‌های محلی و نیازمندی‌ها سرشت نقشه خاک و درنتیجه، واحدهای خاص خاک را که نقشه آن‌ها تهیه می‌شود به ما تحمیل می‌کنند، ممکن‌است واحدهای نقشه‌ی صحرایی از واحدهای طبقه‌بندی که در رده‌بندی یافت می‌شوند تا حدی متفاوت باشند. واحدهای نقشه ممکن‌است بیانگر تفاوت بیشتری در زیر سطح سری‌های خاک باشند، که به آن فاز خاک گفته می‌شود، و یا تهیه‌کنندگان نقشه خاک ممکن‌است تصمیم گیرند که خاک مجموعه و یا مجموعه خاک همسان را با همدیگر در یک واحد نقشه ادغام کنند. مثال‌هایی از این واحدهای نقشه در زیر آمده است.

فاز خاک: گرچه به‌طور فنی رده‌بندی خاک فاز را شامل نمی‌گردد، فاز از تقسیمات فرعی بوده که برروی بعضی از انحرافات مهم از سری اصلی که در کاربری خاک اثر می‌گذارد، متکی است، مانند بافت خاک سطحی، درجه فرسایش، شیب، سنگی‌بودن ویا میزان نمک‌های محلول. بنابراین، یک خاک لوم شنی سسیل[2] با شیب ۵-۳ درصد و لوم سیلتی هاگرتاون[3] با فاز قلوه‌سنگی مثال‌هایی از فازهای سری خاک هستند.

خاک مجموعه‌ی همسان[4]: کوچک‌ترین واحد نقشه عملی برای مطالعات شناسایی خاک بسیار تفصیلی منطقه‌ای است که شامل عمدتاً یک سری خاک و معمولاً فقط یک فاز از آن سری می‌باشد. برای مثال، یک واحد نقشه ممکن‌است به‌صورت خاک مجموعه همسان (لوم سیلتی سایبروک ۲ تا ۵ درصد شیب، با فرسایش متوسط) نامگذاری شود. ممکن‌است استانداردهای کنترل کیفیت برای مطالعات شناسایی خاک بخش مشخص کند که یک واحد نقشه خاک مجموعه‌ی همسان باید ۵۰ درصد خالص بوده و بخش ناخالص باید چنان با فاز نام‌گذاری شده مشابه باشد که اختلافات در مدیریت اراضی تأثیری نداشته باشد. این بدان معنی است که اگر شما در زمینی که تحت عنوان خاک مجموعه‌ی همسان نقشه آن تهیه شده است ۲۰ مته حفر کنید، حداقل ۱۰ مته باید خصوصیات مشخص‌شده برای سری لوم سیلتی سایبروک را آشکار سازد. هرچند قابل‌انتظار است که تعداد اندکی از مته‌ها خاک‌های مشابهی را مانند لوم سیلتی کاتلینا[5] شامل گردد که در آن لایه لسی مقداری ضخیم‌تر از سایبروک است اما ارزیابی آن‌ها از نظر کاربری مشابه می‌باشد. خاک‌های نامتجانس ضمیمه باید کمتر از ۱۵ درصد خاک مجموعه همسان را شامل گردد.

خاک‌های مرکب و یا خاک مجموعه‌ها: بعضی مواقع خاک‌های نامتجانس چنان در کنار هم قرار می‌گیرند که جداکردن هر نوع خاک برروی نقشه خاک اگر غیرممکن نباشد مشکل است. در این موارد خاک مرکب در روی نقشه خاک مشخص می‌شود و توضیحاتی درمورد خاک‌های موجود در خاک مرکب در گزارش شناسایی خاک می‌آید. یک خاک مرکب معمولاً شامل ۲ و یا ۳ نوع سری خاک مجزا است. همان‌طورکه در بخش ۱-۱۹ تشریح شد، نقشه‌های نسبتاً مقیاس بزرگ (رده‌ی سوم جدول ۳-۱۹) ممکن‌است فقط خاک مجموعه‌ها را به نمایش بگذارد، که عبارتست از گروه‌بندی کلی خاک‌هایی که به‌طور شاخص با همدیگر در یک زمین‌نما یافت شده و باید نقشه آن‌ها جداگانه تهیه گردد.

گروه‌های تفکیک‌نشده: این واحد نقشه شامل خاک‌هایی است که به‌طور معمول با همدیگر یافت نمی‌شوند، اما با همدیگر گروه‌بندی و نقشه آن‌ها تهیه می‌گردد، زیرا تناسب مدیریت آن‌ها برای کاربری‌های معمول بسیار مشابه است.

۸-۱۹ گزارش مطالعات شناسایی خاک بخش‌ها و استفاده از آن

در آمریکا ۵۰ سال تلاش متمرکز برای تکمیل یک نقشه‌ی تفصیلی شناسایی خاک از سراسر کشور بخش به بخش درحال انجام است در بسیاری از ایالات‌ها هنوز نقشه خاک بسیاری از بخش‌ها تهیه نشده است، در دیگر بخش‌ها نقشه‌ی خاک ده‌ها سال قبل تهیه و مطالعات آن‌ها به‌روز شده است. این مطالعات شناسایی خاک با نام همکاری ملی شناسایی خاک[6] حاصل یک تلاش مشترک، دولت مرکزی ایالتی و حکومت‌های محلی می‌باشد. نقش اصلی حکومت مرکزی به‌وسیله‌ی سازمان حفاظت منابع طبیعی[7] وزارت کشاورزی امریکا انجام می‌شود.

---

1 -Mapping unit
2 -Cecil sandy loam
3 -Hager town
4 -Consociation
5 -Catlina silt loam
6 -National cooperative soil survey
7 -National Resources Conservation Service

بعضی مواقع دیگر سازمان‌های دولت مرکزی مانند دفتر مدیریت[1] اراضی و یا سازمان جنگل‌ها[2] در این امر مشارکت دارند. سازمان همکاری‌کننده در سطح ایالتی معمولاً ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی همکار با دانشگاه‌های تحت حمایت دولت مرکزی[3] (طرح اهدای زمین دولتی) ایالتی می‌باشند. حال گزارش شناسایی خاک بخش و استفاده از آن را مورد ملاحظه قرار می‌دهیم.

یک گزارش نوین شناسایی خاک بخش شامل دو قسمت عمده است: (۱) نقشه خاک، و(۲)اطلاعات تشریحی همراه آن از واحدهای نقشه و تناسب آن‌ها برای کاربری‌های مختلف. در عمل، بخش تشریحی گزارش به‌عنوان یک راهنمای کامل در توضیح نقشه خاک عمل می‌کند.

نقشه‌ی شناسایی خاک عمومی: این نقشه شناسایی خاک شامل دو بخش است. بخش اول نقشه‌ی عمومی خاک رده چهار (جدول ۳-۱۹) در سرتاسر بخش است که به‌صورت رنگی در مقیاس حدوداً ۲۰۰٬۰۰۰ : ۱ چاپ شده است (شکل ۱۴-۱۹ الف). این نقشه‌ی خاک مجموعه‌ها همراه را که در مناطق فیزیوگرافی اصلی مناطق بخش گروه‌بندی شده‌اند، نشان می‌دهد. نقشه خاک عمومی از نظر ارایه یک دید کلی از منابع اراضی بخش مفید، اما برای برنامه‌ریزی محلی بسیار کلی است. همراه با نقشه‌ی خاک‌شناسی عمومی یک نقشه راهنما برای نقشه‌های خاک‌شناسی تفصیلی وجود دارد. این نقشه‌ی راهنما در همان مقیاس نقشه خاک‌شناسی عمومی چاپ شده و به بخش‌های متعدد مستطیل شکل تقسیم شده است، که هرکدام یک برگ نقشه تفصیلی خاک را شامل می‌شود. نقشه راهنما چهره‌های غیرخاکی بسیاری را مانند جاده‌ها، شهرها، رودخانه‌ها نشان داده و کاربر را قادر می‌سازد که برگ نقشه را با محل مورد نظر تطابق دهد.

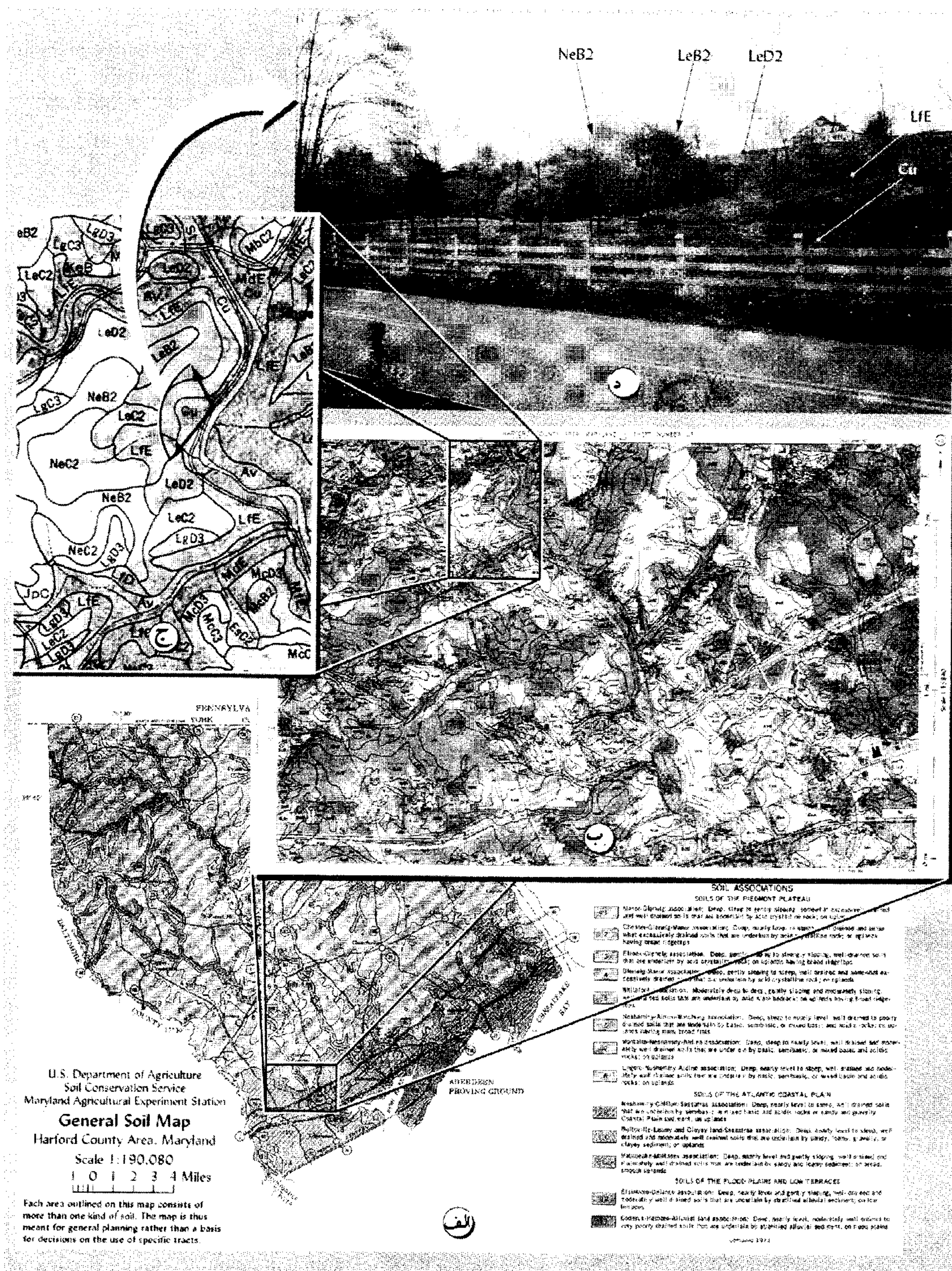
برگ‌های نقشه تفصیلی: بخش دوم نقشه‌ی خاک بخش نقشه تفصیلی (رده دوم از جدول ۳-۱۹) است که شامل برگ‌های متعدد جداگانه می‌باشد (شکل ۱۴-۱۹ ب) که معمولاً تا شده و در پیوست یا پشت جلد گزارش خاک‌شناسی است. هر برگ نقشه مساحتی درحدود ۲۰ تا ۳۰ کیلومترمربع را پوشانده و معمولاً در مقیاس ۱:۱۲۰۰۰، ۱:۱۵۸۰۰، ۱:۲۰۰۰۰ و ۱:۲۴۰۰۰ می‌باشد. در این مقیاس‌ها تک‌درخت و منازل برروی عکس‌های هوایی مبنای نقشه، قابل‌تشخیص بوده و مساحتی از خاک با کوچکی یک هکتار قابل جداشدن است (شکل ۱۴-۱۹ ج). واحدهای نقشه عمدتاً خاک مجموعه‌ها که شامل فازهای خاک بوده، و بنابراین، نقشه تفصیلی برای برنامه‌ریز محلی فوق‌العاده مفید می‌باشد.

اطلاعات تفسیری: استفاده از مطالعات شناسایی خاک بخش برای کاربری اراضی و یا برنامه‌ریزی محلی نیازمند این است که اطلاعات جغرافیایی برروی نقشه با اطلاعات تشریحی در گزارش تلفیق شوند. گزارش معمولاً شامل تشریح خاکرخ در تمام واحدهای نقشه، و همچنین جداولی است که حاوی اطلاعات خصوصیات خاک و مراتب تفسیر برای واحدهای نقشه است. مطالعات قدیم شناسایی خاک اطلاعات تفسیری درمورد پتانسیل تولید برای اکثر محصولات محلی، تناسب خاک‌ها در روش‌های مختلف آبیاری، نیازهای زه‌کشی خاک‌ها، طبقه‌بندی قابلیت اراضی هر واحد نقشه و سایر اطلاعات مفید را در تولید نقشه‌های مزارع ارایه می‌کنند. مطالعات جدیدتر همچنین اطلاعات تفسیری درمورد استفاده‌های غیرکشاورزی مانند زیستگاه وحوش، جنگل، طراحی فضای سبز، دفع زباله، ایجاد ساختمان و منابع مواد جاده‌سازی ارایه می‌کنند.

مثالی از نحوه‌ی استفاده: به‌عنوان مثالی از چگونگی استفاده از گزارش‌های شناسایی خاک، قطعه‌ای از زمین را که برروی عکس موجود در شکل ۱۴-۱۹ د نشان داده شده است، ملاحظه کنید. این اراضی همچنین در جفت عکس هوایی استریوسکوپی که در شکل ۱۵-۱۹ نشان داده شده‌اند وجود دارند. شکل ۱۵-۱۹ را ترجیحاً با یک استریوسکوپ مطالعه کرده و پستی‌وبلندی مشاهده‌شده را با آن‌چه در عکس موجود در شکل ۱۴-۱۹- د مشخص است، مقایسه کنید. با تعیین موقعیت این منظره برروی نقشه تفصیلی (شکل ۱۴-۱۹ ج) ما می‌توانیم آن قطعه زمین را که دارای ۵ واحد نقشه با کدهای Cu، LeB_2، LeD_2، LfE و NeB_2 (شکل ۵-۱۹ را برای توضیح این نظام رمز(کد)گذاری مطالعه کنید) این کدها با ۵ واحد نقشه که در جدول ۴-۱۹ آمده‌اند مطابقت دارند در این جدول چند تفسیر ارایه شده در گزارش خاک‌شناسی نیز مشخص شده است. اگر شما برای طراحی یک بوستان در این محل برنامه‌ریزی می‌کنید، اطلاعات جدول ۴-۱۹ پیشنهاد می‌کنند که واحد نقشه‌ی لوم سیلتی کدروس[4] Cu برای گردشگاه طبیعی مناسب است اما برای یک مرکز جهان‌گردی با امکانات بهداشتی مناسب نمی‌باشد.

---

[1] -Bureau of Land Management
[2] -Forest Service
[3] -Land Grant Universities
[4] -Codorus silt loam



شکل ۱۴-۱۹ نقشه‌ی خاک بخش هارفورد در ایالت مریلند، یک نمونه از نقشه‌ی خاک در مطالعه نوین شناسایی خاک بخش. (الف) یک قسمت از نقشه‌ی خاک عمومی مقیاس کوچک (عمدتاً با مقیاس ۱۹۰۰۸۰ : ۱) که در این‌جا با مقیاس بسیار کوچک‌تری تکثیر شده است. (ب) نقشه خاک‌شناسی تفصیلی که شامل برگ‌های بسیاری از نقشه‌های مقیاس درشت (عمدتاً در مقیاس ۱۵۸۰۰ : ۱) می‌باشد، یکی از این نقشه‌ها (برگ شماره ۴۵) در این‌جا با مقیاس کوچک نشان داده شده است. (ج) یک منطقه‌ی مستطیلی با مساحت تقریبی ۱ کیلومترمربع برروی نقشه‌ی تفضیلی جدا شده و در مقیاس اصلی تکثیر شده است بنابراین، واحد نقشه و چهره‌ها برروی عکس هوایی مبنای نقشه، قابل‌مشاهده است. (د) منظره‌ای‌که جاده را در جلو عکس و خانه را برروی تپه در عقب عکس نشان می‌دهد از موقعیتی که به‌وسیله‌ی ۲ پیکان در ج نشان داده شده است، عکس‌برداری شده است.

برای تجزیه و تحلیل برنامه‌ریزی جامع اراضی. مقادیر فوق‌العاده زیادی اطلاعات ذخیره‌شده در یک گزارش شناسایی خاک بخش احتمالاً می‌تواند با کمک نظام اطلاعات جغرافیایی رایانه‌ای (GIS) با بهترین وجه مورداستفاده قرار گیرد. حال به‌طور خلاصه تشریح می‌کنیم که یک GIS رایانه‌ای چگونه کار می‌کند.

جدول ٤-١٩ نمونه‌ای از اطلاعات تفسیری که به‌وسیله‌ی گزارش شناسایی خاک بخش هاردفورد ایالت مریلند تهیه شده است، چهار واحد نقشه تشریح شده همان‌هایی هستند که در شکل ١٤-١٩ د نشان داده شده‌اند، تفسیرهای به‌عمل آمده شامل بعضی از تفسیرها نیز می‌باشد که برای توسعه‌ی محل به‌عنوان بوستان بخش موردنظر می‌باشد.

رمز واحد نقشه	نام واحد نقشه	طبقه‌بندی کلاس کاربری	محدودیت استفاده از خاک: مناطق چادر زدن	مناطق تصفیه فاضلاب	گردشگاه	تناسب برای حیات وحش فضای آزاد
Cu	لوم سیلتی Codorus	IIw-7	شدید (خطر سیل‌گیری)	شدید (سطح آب زیرزمینی) کم (خطر سیل‌گیری)	متوسط(خطر سیل‌گیری)	خوب
LeB_2	لوم سیلی Legore با ٨-٣ درصد شیب	IIe-10	کم	کم	کم	خوب
LeD_2	لوم سیلیlegore باشیب ٢٥-١٥ درصد	IVe-10	شدید (شیب)	شدید (شیب)	متوسط (شیب)	مناسب
LfE	لوم سیلتی Legore خیلی سیلتی با شیب ٤٥-٢٥ درصد	VIIe-3	شدید (شیب)	شدید (شیب)	شدید (شیب)	ضعیف
NeD_2	لوم سیلتی Neshaminy با شیب ٨-٣ درصد فرسایش متوسط	IIe-4	کم	متوسط (نفوذپذیری متوسط)	کم	خوب



شکل ١٥-١٩ یک جفت استریوسکوپی عکس هوایی شامل اراضی که در نقشه خاک در بخش ج در شکل ١٤-١٩ نشان داده شده است. چهره‌های اصلی که باید مورد توجه قرار گیرد عبارتست از سد مخزنی در قسمت بالا سمت چپ، توسعه ساختمان‌سازی در مقیاس کوچک در قسمت وسط سمت چپ، رودخانه (Winters Run) که در زیر مخزن جاری شده است. تپه و سیلدشت در مرکز عکس. چهره‌های آخری همان‌هایی هستند که در عکس زمینی ١٤-١٩ – د آمده‌اند

۹-۱۹ نظام اطلاعات جغرافیایی

اطلاعات جغرافیایی مجموعه‌ای از اقدامات سازمان‌یافته است که برای مدیریت اطلاعات، و یا داده‌ها، مورد استفاده قرار می‌گیرند که شامل برنامه جمع‌آوری اطلاعات، تجزیه‌وتحلیل اطلاعات و نهایتاً استفاده از آن‌ها برای ایجاد یک محصول، مانند یک گزارش و یا یک نقشه می‌باشد. در یک نظام اطلاعات جغرافیایی (GIS)، اطلاعات وابسته به موقعیت‌های مکانی است. برای مثال خصوصیات یک خاکرخ در ارتباط با محل مناسب یک واحد نقشه است. یک نظام GIS شامل ۵ مرحله زیر است:

۱- جمع‌آوری اطلاعات

۲- فراوری اولیه

۳- مدیریت داده‌ها

۴- کاربری اطلاعات و تجزیه و تحلیل آن‌ها

۵- تولید محصول

فرایند تهیه‌ی نقشه‌ی خاک، که در بخش ۵-۱۹ تشریح گردید، بخشی از مرحله جمع‌آوری اطلاعات است، جمع‌آوری نقشه‌های موجود خاک، گزارش‌ها و منطقه‌بندی نیز بخشی از همین مرحله است. این اطلاعات باید از قبل فراوری شده تا به شکلی درآیند که بتواند با سایر اطلاعات تلفیق گردند. جمع‌آوری اطلاعات و فراوری آن‌ها می‌تواند بسیار وقت‌گیر و پرهزینه باشد. یک نمونه از فراوری اولیه، یعنی رقومی‌کردن یک نقشه موجود خاک، واردکردن تمام مرزهای خاک و سایر چهره‌های مکانی در پایگاه اطلاعات رایانه‌ای به‌صورت نقطه‌ها، خطوط و یا مناطق با تعریف هندسی که چندضلعی نامیده می‌شوند، می‌باشد. این فرایند می‌تواند با استفاده از یک اسکنر انجام گیرد اما اکثراً باید به‌وسیله‌ی دست با استفاده از یک رقومی‌کننده انجام شود. اطلاعات تشریحی نیز مانند آن‌چه در جدول ٤-١٩ آمده است باید در پایگاه اطلاعاتی وارد شود. درحال‌حاضر فقط تعداد اندکی از مطالعات شناسایی خاک بخش به‌صورت رقومی موجود است اما با به‌روزشدن مطالعات شناسایی خاک بسیاری از آن‌ها نیز رقومی می‌شوند.

وقتی تمام اطلاعات لازم داخل پایگاه اطلاعاتی گردید، می‌تواند به‌وسیله‌ی برنامه‌های رایانه‌ای مدیریت گردیده و به‌وسیله‌ی کاربر مورد بررسی قرار گرفته تا شکل جدیدی از اطلاعات و حقایق ایجاد گشته و نهایتاً یک محصول مانند نقشه و یا گزارش تولید شود. تعدادی از برنامه‌های رایانه‌ای پیچیده برای انجام سه مرحله‌ی آخر نظام GIS در ارتباط باهم طراحی شده‌اند. شکل ١٦-١٩ یک مثال ساده از تولید چنین برنامه‌ای را نشان می‌دهد. نقشه در این شکل براساس اطلاعات اخذشده از برگ نقشه‌ی خاک است که در شکل ١٤-١٩ ب نشان داده شده است. اگرچه رقومی‌کردن و واردکردن اطلاعات تشریحی و جغرافیایی تنها برای این برگ نقشه نیازمند بیشتر از ۱۰۰ ساعت بود اما تولید نقشه‌ی بعدی یعنی نقشه‌ی محدودیت چادرزدن فقط چند دقیقه طول کشید. نقشه در شکل ١٦-١٩ مجموعه‌ای بیشتر از ۹۰ واحد نقشه را با گروه‌بندی آن‌ها در سه دسته با توزیع مکانی خلاصه کرده است همین اطلاعات از قبل در جداول گزارش شناسایی خاک موجود بود، اما به شکل مکانی وجود نداشت.

نقشه‌ای که هم‌اکنون مورد اشاره قرار گرفت (شکل ١٦-١٩) تنها از یک لایه اطلاعات تشکیل شده است، یک نظام GIS می‌تواند برای تلفیق بسیاری از لایه‌های اطلاعات خاک از گزارش شناسایی خاک مورد استفاده قرار گیرد. به‌عنوان یک مثال فرضی از کاربرد GIS سناریوهای زیر را مورد نظر قرار دهید.

یک موسسه محلی در نظر دارد که جایی مناسب را برای بوستان عمومی از یکی از ۲۰ قطعات بزرگ اراضی مرزبندی شده در منطقه‌ای که به‌وسیله‌ی برگ شماره ٤٥ نقشه تفصیلی شناسایی خاک پوشش یافته است، پیدا کند (شکل ١٤-١٩ ب). برنامه‌ریزان تصمیم گرفته‌اند که زمین مناسب برای بوستان باید چهار خصوصیات زیر را در بَر داشته باشد:

۱- محدودیت اندک در اراضی برای گردش دسته‌جمعی

۲- محدودیت اندک برای مسیرهای پیاده‌روی

۳- کلاس قابلیت اراضی بیشتر از II (برای جلوگیری از کاربری آن اراضی که باید برای تولید محصولات غذایی حفظ شوند)

۴- زیر کلاس ۲۰ درخت‌زارها بیانگر منطقه‌ای است که برای تولید جنگل سخت‌چوب دارای توان تولید بالا می‌باشد.

چند ضلعی مرز هر واحد نقشه در برگ شماره ٤٥ در داخل پایگاه اطلاعاتی GIS وارد شد و هر چندضلعی با اطلاعات مناسب تفسیری و تشریحی از گزارش شناسایی خاک همراه گردید.

برنامه‌ی رایانه‌ای GIS چندضلعی واحدهای نقشه که چهار معیار فوق را دارا بودند، مورد جستجو قرار داد و یک نقشه با سایه روشن، فقط برای چندضلعی‌هایی که دارای خصوصیات مورد نظر بودند چاپ گردید. نهایتاً مرزهای ۲۰ قطعه زمین، و همچنین موقعیت رودخانه‌ها برروی نقشه کشیده شد نقشه حاصل در شکل ۱۷-۱۹ نشان داده شده است. به‌نظر می‌رسد بالاترین قطعه زمین درست در سمت راست مرکز عکس که دارای بزرگ‌ترین سطح با خصوصیات مورد نظر برای ایجاد پارک پیشنهادی می‌باشد.



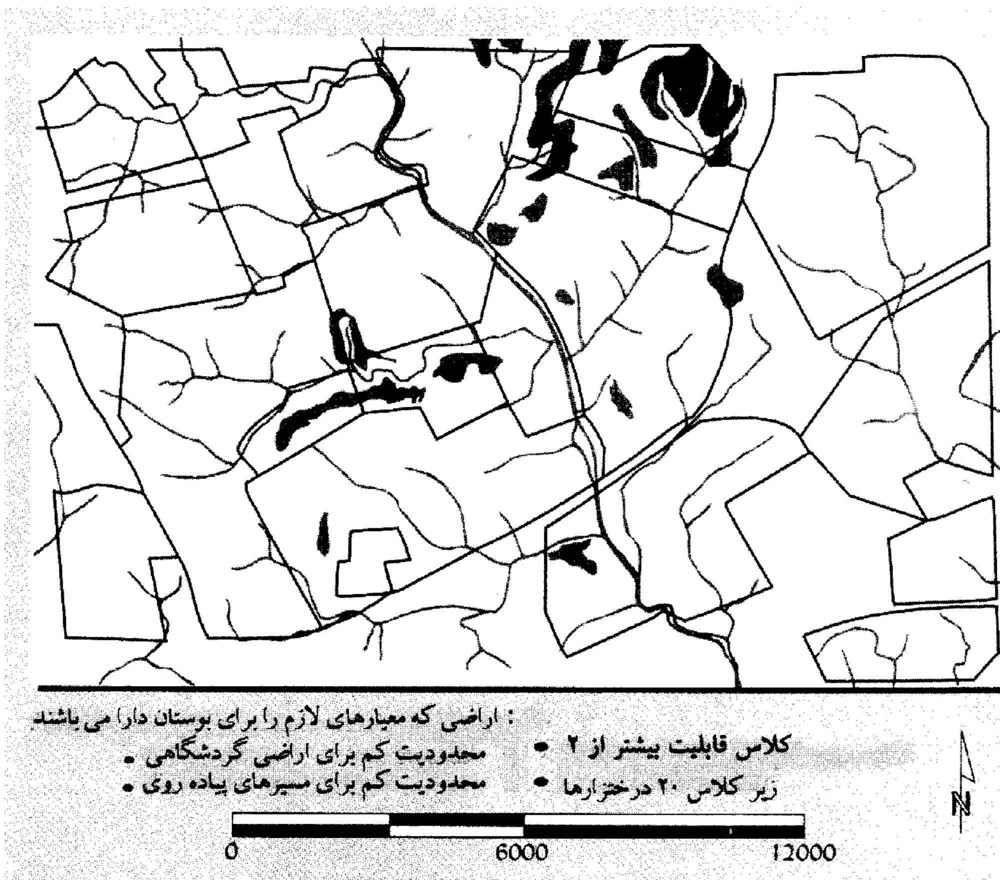
اندک شدید متوسط : محدودیت برای استفاده به عنوان اراضی چادر زدن

شکل ١٦-١٩ یک نقشه‌ی خاک تفسیری ساده از همان منطقه در شکل ١٤-١٩ ب (برگ نقشه‌ی ٤٥ هارفورد از ایالت مریلند). درجه‌بندی محدودیت‌ها از جداول گزارش شناسایی خاک همراه هر یک از هزاران چندضلعی برروی برگ نقشه می‌باشد. مناطق با رنگ خاکستری تیره در کنار رودخانه‌های عمده در تناسب برای اراضی چادرزدن یا بسیار پرشیب و یا بسیار مرطوب می‌باشند و بنابراین، در دسته محدودیت‌های بسیار شدید قرار دارند. این نقشه فقط یک لایه اطلاعات است که شامل اطلاعاتی برروی توزیع مکانی محدودیت‌ها (اراضی مناسب چادرزدن) می‌باشد. این نقشه راه‌ها، رودخانه‌ها و سایر داده‌ها را نشان نمی‌دهد (اراضی با مواد غیرخاکی خالی باقی مانده‌اند). این نقشه را با شکل ١٤-١٩ ب مقایسه کنند، توجه کنید که نظام اصلی رودخانه‌های فرعی به‌طور تقریبی از مرکز هر دو نقشه در طول قطر جریان دارند.

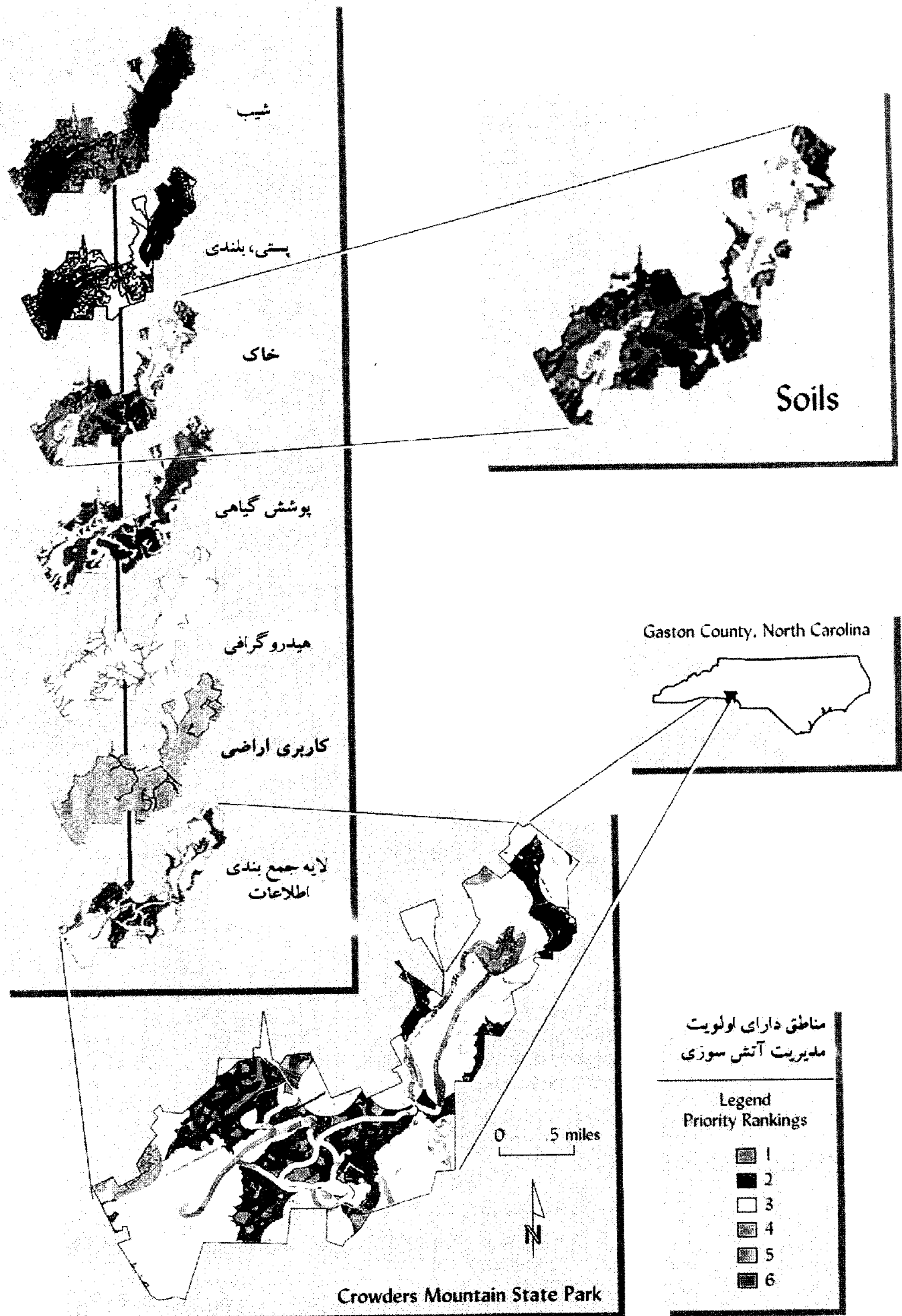
در بسیاری از برنامه‌ریزی‌های کاربری اراضی، خصوصیات خاک یکی از انواع مختلف اطلاعات جغرافیایی است که باید برای تأمین بهترین استفاده از یک محل، و یا پیداکردن جایی که برای کاربری موردنظر بهترین تناسب را دارد مورد تلفیق قرار گیرد. برنامه‌ریزی برای بهترین کاربری از مزارع مختلف، پیداکردن محلی مناسب برای چاله‌ی دفع بهداشتی زباله و طراحی پناه‌گاه وحوش نمونه‌های از طرح‌هایی هستند که باید از اطلاعات جغرافیایی خاک‌ها و غیرخاک‌ها بهترین استفاده را به‌عمل آورند. ممکن‌است اطلاعات غیرخاک‌ها که باید مورد ملاحظه قرار گیرد شامل پستی‌وبلندی، رودخانه‌ها، پوشش گیاهی و کاربری فعلی باشد. نظام GIS می‌تواند برای ترکیب تمام این نوع اطلاعات، دادن بیشترین وزن به عواملی که برنامه‌ریز فکر می‌کند بسیار بحرانی می‌باشند، مورد استفاده قرار گیرد.

مثالی از یک مدل GIS در شکل ۱۸-۱۹ نشان داده شده است. در این‌جا هدف ابداع برنامه‌ای برای مبارزه با آتش‌سوزی در یک منطقه‌ی تفریحی می‌باشد. برای برآورد این‌که آتش‌ها به احتمال زیاد از کجا آغاز می‌شوند، کجا انواع مختلف ادوات و فناوری‌های مبارزه با آتش مناسب می‌باشد و کجا یک آتش‌سوزی سرکش بالاترین خسارت را به‌بار می‌آورد، تعدادی از عوامل باید موردنظر قرار گیرند. سرشت زمین اکثر این عوامل را تعیین می‌کند. تعدادی از نقشه‌ها، که توزیع مکانی عوامل خاکی و غیرخاکی را مشخص می‌کند برای تولید اولویت‌های مدیریت آتش برروی‌هم قرار گرفتند. نقشه نهایی مناطق مختلف را داخل منطقه برحسب اولویت‌بندی آن‌ها در طرح مدیریت آتش از هم جدا نمود.

هرچه اطلاعات خاک در شکل رقومی بیشتر شود استفاده از آن در اخذ تصمیم‌گیری‌های برنامه‌ریزی اراضی براساس تجزیه‌وتحلیل GIS بدون شک به‌طور روزافزون، معمول خواهد شد. کیفیت این تصمیم‌گیری‌ها وابسته به کیفیت اطلاعات جغرافیایی خاک‌های تهیه‌شده به‌وسیله‌ی دانشمندان خاک، و کیفیت معیارهای تصمیم‌گیری ارایه‌شده به‌وسیله‌ی برنامه‌ریزان و همکاران، آن‌ها می‌باشد.



شکل ۱۷-۱۹ نقشه‌ی قسمتی از بخش هارفورد در ایالت مریلند (برگ نقشه‌ی ٤٥) که با اراضی سایه‌خورده مشخص شده‌اند برای ایجاد بوستان‌های جدید با توجه به ٤ معیار مناسب می‌باشند. محدودیت‌های کلاس قابلیت اراضی (Lucc >2) از خارج‌کردن اراضی مرغوب از تولید زارعی اجتناب می‌کند (بخش۱۳-۱۷ را مطالعه کنید). «تناسب برای ایجاد بوستان» خصوصیتی است که به‌وسیله‌ی GIS ایجاد شده است. علاوه بر تناسب برای ایجاد بوستان ۲ لایه دیگر اطلاعات جغرافیایی در این عکس نشان داده شده‌اند: ۱- رودخانه (خطوط منشعب کم‌رنگ) و۲- مرزهای ۲۰ قطعه از اراضی فرضی (خطوط مستقیم پررنگ). کدام قطعه زمین باید به‌وسیله‌ی بخشداری برای تهیه یک پارک جدید باید خریداری شود؟



شکل ۱۸-۱۹ برای ارایه‌ی برنامه‌های مدیریت مقابله با آتش‌سوزی جنگل‌ها در بوستان ایالتی کوهستان کراودر در ایالت کارولینای شمالی اطلاعات مکانی درمورد خصوصیات خاک و سایر اطلاعات دارای توزیع مکانی با استفاده از برنامه‌های رایانه‌ای نظام اطلاعات جغرافیایی، که برای قراردادن لایه‌های مختلف انواع نقشه‌ها طراحی شده بود باهم ترکیب شدند. بدین‌صورت، اطلاعات خاک در نقشه‌ی نهایی به‌عنوان یکی از اجزای در تلفیق با اجزای متعدد دیگر قرار گرفت.

۱۰-۱۹ نتیجه‌گیری نهایی

انجام مطالعات شناسایی خاک هم علم است و هم هنر، که به‌وسیله‌ی آن‌ها بسیاری از دانشمندان خاک درک خود را از خاک‌ها و زمین‌نما در دنیای واقعی اعمال می‌کنند. تهیه‌ی نقشه‌ی خاک‌ها فقط یک حرفه نیست، بسیاری می‌گویند که یک روش زندگی‌کردن است. کارکردن به‌تنهایی در محیط باز در تمام انواع اراضی، و حمل تمام ابزارهای لازم به‌تنهایی. دانشمند شناسایی خاک حقایق زمین را جمع‌آوری می‌کند تا با اطلاعات حاصل از ماهواره و آزمایشگاه تلفیق گردند.

نقشه‌های خاک حاصل و اطلاعات تشریحی در گزارش‌های شناسایی خاک به راه‌های بی‌شماری به‌وسیله‌ی دانشمندان خاک و همین‌طور غیرمتخصصین مورد استفاده قرار می‌گیرند. مطالعات خاک‌شناسی همراه نظام‌های قدرتمند اطلاعات جغرافیایی برنامه‌ریزان را قادر می‌سازد که تصمیمات معقولی را در مورد این‌که چه چیزی کجا باید باشد، اتخاذ کنند. چالش برای دانشمندان خاک و شهروندان مورد نظر توسعه بصیرت و پایمردی برای استفاده از فرایندهای برنامه‌ریزی GIS می‌باشد که سبب می‌گردد خاک‌های بسیار باارزش خود را حفظ کرده، و در تخریب و تبدیل آن‌ها به‌صورت فروشگاه‌های بسیار و چاله‌های دفع زباله شتاب نکنیم.

سووالات برای مطالعه

۱- کدام تفاوت اصلی در بین خاک مجموعه (Soil association) از یک طرف و توالی خاک (Soil catena) از طرف دیگر موجود است. تفاوت بین توالی سنگی (Lithosequence) و توالی پستی‌وبلندی (Toposequence) چه می‌باشد؟

۲- هدف اصلی از حفر خاکرخ در مطالعات شناسایی خاک چیست؟

۳- انواع اطلاعاتی را که ممکن‌است تهیه‌کننده نقشه خاک در انتخاب محل حفر چاله یا مته برای برداشت خاک‌های زیر سطحی جهت مطالعه مورد استفاده قرار دهد چیست؟

۴- GPS چگونه در یک نظام GIS مورد استفاده قرار می‌گیرد؟

۵- مزایای استفاده از عکس‌های هوایی، به‌عنوان نقشه پایه در مطالعات خاک‌شناسی چیست؟

۶- در منطقه‌ای که زندگی می‌کنید بعضی از اطلاعات را که انتظار دارید قادر باشید از تصاویر ماهواره‌ای به‌دست آورید، تشریح کنید.

۷- فرض کنید که شما دو نقشه دیواری دارید هر یک حدوداً دارای ۱ متر عرض و ۰/۷ متر بلندی باشد. یک نقشه مربوط به کانادا و دیگری نقشه مرتعی در کالیفرنیا باشد. کدام نقشه مقیاس درشت و کدام‌یک مقیاس کوچک است؟ اگر مرتع حدوداً از غرب تا شرق ۲۰ کیلومتر طول داشته باشد مقیاس تقریبی برای نقشه چه می‌باشد؟

۸- یک ترسیم‌کننده‌ی نقشه‌ی خاک یک مرز به دور منطقه‌ایی که در آن ٦ مته به‌طور تصادفی زده است ترسیم می‌کند، ۲ عدد در خاک A با یک افق ارجلیک با ضخامت ٦۰ سانتی‌متر و رنگ قهوه‌ای تند و ٤ مته دیگر در خاکB با رنگ قهوه‌ای روشن‌تر و افق ارجلیک بین ۵۰ تا ۷۰ سانتی‌متر ضخامت، سایر خصوصیات خاک و ملاحظات مدیریتی برای دو نوع خاک مشابه است. آیا واحد نقشه ترسیم شده احتمالاً یک خاک مجموعه، خاک مجموعه همسان و یا کمپلکس باشد؟ توضیح دهید.

۹- فرض کنید شما برنامه‌ریزی نموده‌اید که ٤ هکتار زمین برای ایجاد یک باغ کوچک خریداری کنید، مرحله به مرحله توضیح دهید که از مطالعات شناسایی خاک بخش چگونه استفاده می‌برید، که مشخص کند محدوده‌ی مربوط، برای کاربری مورد نظر شما تناسب دارد.

۱۰- اگر شما به‌وسیله‌ی حکومت ایالتی استخدام شوید تا یک نقشه با مبنای GIS تولید کنید که نشان دهد کجا هزینه‌ها باید انجام شود که از توسعه‌ی حومه‌ی شهر در مزارع جلوگیری کند، می‌خواهید چه نوع لایه‌های اطلاعاتی در نظام GIS مورد استفاده قرار دهید.

اگر راه خود را تغییر ندهیم، همان‌جایی‌که در نظر داریم، راه را به پایان خواهیم برد.

(ضرب‌المثل چینی)

فصل ۲۰

کیفیت خاک در جهان تحت تأثیر فعالیت‌های بشر

در طول چند دهه‌ی گذشته، به اهمیت جهانی اکثر کارهایی‌که انجام می‌دهیم، پی برده‌ایم. توسعه و یا رکورد اقتصادی یک کشور در اقتصاد تمام شرکای تجاری آن کشور در سرتاسر جهان تأثیرگذار است. شبکه‌ی ارتباطات جهانی دست‌یابی آسان رایانه‌ای را به اطلاعات باارزش و اخبار در هر گوشه جهان برای ما فراهم کرده است. درنتیجه، عمل هر کشور، هر مجموعه ویا هر فرد می‌تواند دارای اهمیت جهانی باشد.

این تصویر جهانی در مورد خاک‌ها نیز صادق است. ذرات خاک که به‌وسیله‌ی باد در طول خاک‌ورزی بهار، در دشت‌های بزرگ آمریکا برداشت می‌شود، می‌توانند در باران‌ها در ایالت‌های شرق آمریکا و حتی اروپا ردیابی شوند. به‌همین ترتیب، نمک اضافی، نیترات‌ها و یا فسفات‌ها در زهاب خاک‌های یک کشور می‌تواند آب را برای استفاده کشور دیگر در پایین‌دست رودخانه نامناسب سازد. مطمئناً تغییرات در توان تولید خاک‌ها در یک منطقه دارای اثرات جدی برای انسان‌ها و سایر موجودات زنده در سایر جاهای جهان می‌باشد. امنیت غذایی و قیمت غذاها تحت تأثیر قرار می‌گیرند. اما تنوع زیستی، کیفیت آب و غذا و انرژی برای تمام موجودات تا حدی وابسته به توان تولید و کیفیت خاک‌ها می‌باشد.

در فصول قبل، توجه خودرا به فرایندهای شیمیایی، فیزیکی و زیستی که در خاک صورت می‌پذیرد معطوف داشتیم و برروی مسایل خاص مناطق و فرصت هایی که بهره‌برداران با آن مواجه می‌باشند تأکید نمودیم. حال به کاربرد جهانی فعالیت‌هایی که تک‌تک بهره‌برداران در مدیریت خاک‌ها در مناطق مختلف در سرتاسر کره زمین انجام می‌دهند برمی‌گردیم. ما تشخیص خواهیم داد که چگونه فعالیت‌های انسانی برروی موجودات خاکی تأثیر گذاشته، و آن‌ها نیز درکیفیت خود خاک اثر می‌گذارند. به‌عنوان چهارچوبی برای بحث خود حال توجه خود را به کیفیت و یا سلامت خاک‌ها که آن‌ها نیز به نوبه‌ی خود در سلامت انسان‌ها و سایر موجودات زنده اثر می‌گذارند، معطوف می‌کنیم.

۲۰-۱ مفهوم کیفیت خاک/ سلامت خاک

از ابتدای زمان انسان خاک‌هایی را که برروی آن کار، بازی و یا زندگی می‌کند، مورد ارزیابی قرار داده است. واژه‌هایی چون خاک‌های (خوب) و (بد)، (خاک‌های فرسایش‌یافته)، (پرتولید) و (کم‌تولید) همیشه مورد استفاده بوده‌اند. در سال‌های اخیر، دانشمندان و بهره‌برداران از خاک دریافته‌اند که بسیاری از خاک‌های جهان درحال تخریب بوده، و آن‌ها می‌خواهند که تخریب را بهتر درک کرده و آن‌را وارونه کنند. آن‌ها می‌خواهند یاد بگیرند که چگونه نه‌تنها کیفیت خاک‌های تخریب شده، بلکه کیفیت سایر خاک‌ها را نیز بهبود بخشند. آن‌ها همچنین می‌خواهند برای زارعین و برنامه‌ریزان منابع طبیعی وسایل ساده‌ای را برای مقایسه کیفیت خاک‌ها از یک محل با محل دیگر فراهم کنند.

برای این‌که مقایسه حاضر را معنی‌دار کرده و پتانسیل یک خاک مشخص را بهتر درک کنیم، دانشمندان خاک مفهوم کیفیت و یا سلامت[1] خاک را به‌کار می‌برند. مفهوم کیفیت خاک و معیارهای تعیین آن هنوز درحال تکامل می‌باشند، هرچند از قبل ثابت شده است که برای هشداردادن به دانشمندان، زارعین، متخصصین محیط زیست و مدیران برای مواظبت و رفع نیازهای یک خاک، حفظ کیفیت آن وسیله‌ی بسیار مناسبی می‌باشد.

---

[1] - واژه‌های کیفیت (Soil Quality) و سلامت خاک (Soil health) اغلب در ادبیات علمی و جراید عمومی به‌جای همدیگر به‌کار می‌رود، سلامت خاک در بهترین وجه به شرایط خاک درنتیجه مدیریت آن دلالت دارد درحالی‌که کیفیت خاک ممکن است به هر دو مورد خصوصیات دایمی و شرایط خاک اشاره دارد.

کیفیت خاک در ارتباط با ظرفیت آن برای ایفای نقش نه‌تنها در محدوده‌ی خود، بلکه در محیط گسترده‌تری می‌باشد که خاک جزیی از آن است. این مفهوم بیانگر تناسب خاک (۱) به‌عنوان یک بستر برای ارتقای رشد نبات و حیوان (از جمله انسان‌ها) ضمن تنظیم جریان آب در محیط زیست می‌باشد، (۲) یک پشتیبان محیطی است که سبب هضم و تجزیه ترکیبات خطرناک زیست محیط می‌شود، (۳) عاملی در افزایش سلامت گیاهان و حیوانات از جمله انسان‌ها می‌باشد.

این سه مبحث گسترده به تعریف زیر می‌انجامد: کیفیت خاک عبارت از ظرفیت یک خاک برای ایفای نقش در قلمرو بوم‌سامان (بعضی مواقع در خارج آن) خود برای پایداری توان تولید، تنوع زیستی، حفظ کیفیت محیط زیست و ارتقای سلامت نبات و حیوان می‌باشد. رابطه‌ی بین تعریف کیفیت خاک و سلامت خاک، نقش آن و معیارهایی برای اندازه‌گیری آن در شکل ۱-۲۰ آمده است.

ارزیابی کیفیت خاک

ارزیابی کیفیت خاک به‌وسیله‌ی اهداف جوامع برای یک زمین نما (چشم‌انداز اراضی)، و یا بوم‌سامان و وظایفی که انتظار می‌رود خاک‌ها برای تحقق این اهداف ایفا کنند مشخص می‌شود. برای مشخص‌کردن توان یک خاک برای ایفای نقش، ما از مجموعه‌ای خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی استفاده می‌کنیم. که اکثراً آن‌ها در فصول قبل مورد ملاحظه قرار گرفته‌اند(جدول ۱-۲۰).

تحقیقات برای توسعه‌ی شاخص‌های کیفیت خاک جهت اندازه‌گیری توان خاک برای ایفای نقش به‌طور کمی درحال انجام است. این کار ساده نیست. زیرا کیفیت خاک به‌وسیله‌ی بسیاری از خصوصیات تحت تأثیر بوده، و تأثیر نسبی آن‌ها بر شاخص‌ها از یک نقش خاک تا نقش دیگر آن بسیار متفاوت است. برای مثال، میزان عناصر غذایی به‌عنوان عاملی برای ایفای نقش خاک در افزایش تولید دارای نرخ بالایی بوده، اما در ایفای نقش کیفیت خاک به‌عنوان پی ساختمان‌ها نسبتاً غیرمهم می‌باشد. این مسأله مطرح می‌کند که شاخص‌های کیفیت خاک باید برای استفاده مورد نظر نسبتاً اختصاصی باشند.

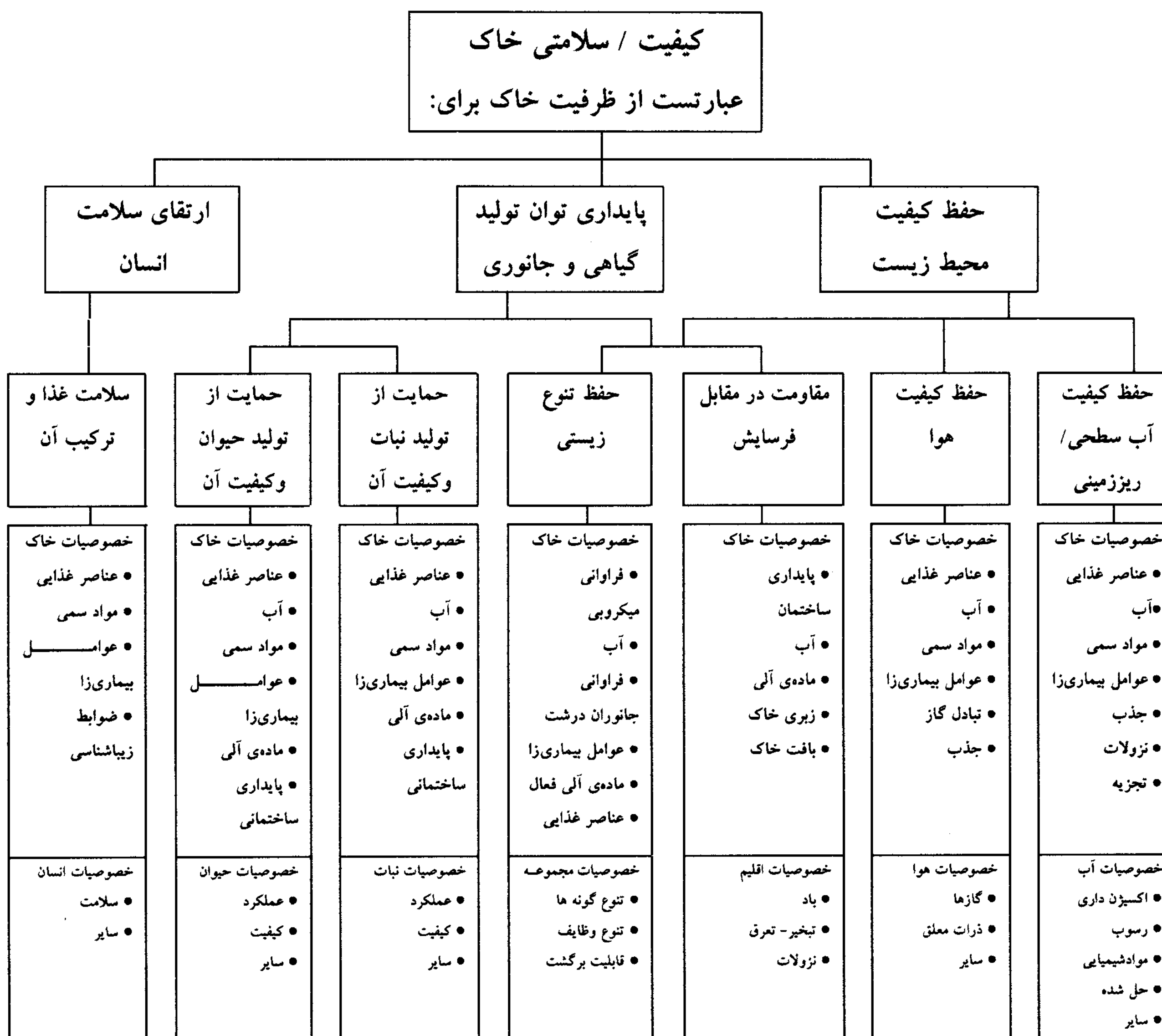
اهمیت نسبی عوامل مختلف، که در یک شاخص کیفیت مؤثرند در یک زمان با زمان دیگر، و از یک محل با محل دیگر در یک زمان، متفاوتند. این مسأله در جدول ۲-۲۰ که عناصر تولید غذا و پوشاک را در سال ۱۹۰۰ درمقایسه با عناصر غیرتولیدی برجسته‌تر (دارای وزن بیشتر) بوده‌اند تشریح شده است. اما در زمان ما به‌نظر می‌رسد عناصر مربوط به محیط زیست دارای اهمیت بیشتری باشند به‌خصوص در کشورهای صنعتی که در آن‌ها امنیت غذایی به‌طور معقولی تضمین شده است. نقش‌های گسترده‌تر زیست‌بوم خاک درسطح وسیع‌تری درحال مشخص‌شدن می‌باشند. در کشورهای درحال‌توسعه که گرسنگی و حتی قحطی همان‌طورکه در جدول ۲-۲۰ مشاهده می‌کنید، هنوز معمول است، به تولید غذا و پوشاک از نظر کیفیت خاک وزن بیشتری داده شده است.

شاخص کیفیت خاک برای فرسایش‌پذیری : یک مثال

کیفیت خاک در ارتباط با فرسایش خاک می‌تواند از اطلاعات موجود در جدول ۳-۲۰ استخراج گردد. چهار نقش خاک در مقابله با فرسایش قابل تشریح است: (۱)امکان ورود آب، (۲)سهولت انتقال و نگهداری آب، (۳)مقاومت در مقابل تخریب، و (٤)پایداری رشد نبات. وزن نسبی هرکدام از نقش‌های خاک در مقابله با فرسایش مشخص شده است، ۵۰ درصد به‌خاطر امکان ورود آب، ۳۵ درصد مقاومت به تخریب خاکدانه، ۱۰ درصد انتقال و نگهداری آب و ۵ درصد برای پایداری رشد نبات فرض شده است. اندازه‌گیری‌هایی که می‌توانند به‌عنوان شاخص‌های این چهار نقش خاک عمل کنند، به‌صورت شاخص‌های همراه با وزن نسبی آن‌ها در جدول نشان داده شده است. به بسیاری از خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک که می‌توانند به ما کمک کنند تا توانایی خاک را در مقابله با فرسایش ارزیابی کنیم، توجه کنید.

اطلاعات تحلیلی برای شاخص‌های عمده همراه با وزن نسبی آن‌ها می‌توانند برای توسعه شاخص کلی کیفیت خاک در ارتباط با فرسایش مورد استفاده قرار گیرند. برای مثال، اجزای این شاخص در ارتباط با مقاومت به تخریب برای یک خاک در ایالت ایوا، که عملیات کشت پایدار پیگیری می‌شد، دارای نرخ ۸٤ /۰(از عدد ۱) بود. درمقایسه برای مزرعه‌ی مجاور، که در آن عملیات پرنهاده نسبی مورد استفاده بود این عدد ۰/٦ بود.

ما اکنون به سه نقش اساسی خاک‌ها، که درصورت رضایت‌بخش‌بودن کیفیت خاک باید ایفا کنند، برمی‌گردیم. توجه اولیه ما برروی توان تولید زیستی معطوف خواهدبود. زیرا زندگی وابسته به آن است، گرچه دو نقش دیگر یعنی نگهداری کیفیت محیط زیست و ارتقای سلامت انسان و حیوان نیز موردتوجه قرارخواهند گرفت، به‌خصوص وقتی آن‌ها در تلاش‌های انسان‌ها برای حداکثررساندن توان تولید زیستی تحت تأثیر قرار گیرند.



شکل ۱-۲۰ بیان تصویری تعاریف و نقش‌های کیفیت و یا سلامت خاک، همراه با مثال‌هایی از خصوصیات شاخص (خاک و دیگر عوامل) که می‌توانند برای اندازه‌گیری کیفیت و یا سلامت خاک به‌کار روند. تعریف کیفیت خاک با حروف درشت، نقش‌های بیشتر با حروف معمولی و گروه‌های شاخص خصوصیات که حامی هر نقش است در کلمات ریز آمده‌اند. برای سهولت، بسیاری از ارتباطات در داخل نقش‌های کیفیت خاک نشان داده نشده است(برای‌مثال حفظ کیفیت آب تاحدی وابسته به مقاومت درمقابل فرسایش وغیره می‌باشد). باکسب دانش بیشتر، احتمالاً شاخص‌های بیشتر و بسیار اختصاصی‌تر به این فهرست اضافه خواهند شد.

جدول ۱-۲۰ کمینه‌ی مجموعه‌ی اطلاعات ممکن برای شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی، و زیستی در تعیین کیفیت ویا سلامت خاک سایر شاخص‌های حمایت‌کننده می‌توانند برای ارزیابی اندازه‌گیری‌ها مورد استفاده قرار گیرند. ممکن است مقادیر هر شاخص را در داخل یک شماره‌ی شاخص کیفیت خاک ادغام کرد، وزن داده‌شده به هر شاخص به‌وسیله‌ی نقش‌های خاص خاک مشخص خواهد شد.

شاخص	دلایل استفاده از آن
فیزیکی	
بافت	نگهداری و انتقال آب و مواد شیمیایی
عمق خاک و ریشه‌دوانی	برآورد پتانسیل توان تولید و فرسایش
نفوذپذیری و وزن مخصوص ظاهری	پتانسیل آبشویی یا توان تولید و فرسایش
ظرفیت نگهداری آب	در ارتباط با نگهداری، انتقال آب و فرسایش‌پذیری
شیمیایی	
کل ماده‌ی آلی خاک	ذخیره کربن، توان حاصلخیزی و پایداری
ماده‌ی آلی فعال	پایداری ساختمانی و غذایی میکروب‌ها
اسیدیته	آستانه‌ی فعالیت‌های زیستی و شیمیایی
هدایت الکتریکی	آستانه‌ی فعالیت‌های گیاهان و میکروب‌ها
نیتروژن، فسفر و پتاس قابل استخراج	عناصر غذایی قابل استفاده نبات و توان برای هدررفت N و P
زیستی	
C و N زیتوده میکروبی	پتانسیل واکنش‌یاری میکروب‌ها و هشدار اولیه برای ایجاد تغییرات در ماده‌ی آلی
N دارای پتانسیل معدنی شدن	توان تولید خاک و توان عرضه‌ی N
تنفس مخصوص	فعالیت میکروبی در واحد زیتوده‌ی میکروبی
تعداد جانواران بزرگ	توان تأثیر جاندارانی مانند کرم خاکی

جدول ۲-۲۰ اهمیت اعطاشده به وظایف مختلف خاک برای مشخص‌کردن کیفیت خاک در زمان‌ها و شرایط مختلف.
به وزن بسیار بالا برای نقش تولید غذا و پوشاک در سال ۱۹۰۰ در مقیاس جهانی، و در کشورهای درحال توسعه درحال حاضر توجه کنید. سایر نقش‌ها در ارتباط با مباحث محیط زیست و سکونت‌گاه‌ها در کشورهای صنعتی امروزه بسیار برجسته می‌باشند

نقش خاک	وزن احتمالی		
	جهانی ۱۹۰۰	کشورهای صنعتی ۲۰۰۰	کشورهای درحال توسعه ۲۰۰۰
۱ – تولید غذا و پوشاک	۸۵	٤۰	۷۰
۲ – مقاومت به فرسایش	۳	۱۵	۱۰
۳ – کیفیت آب و هوا	۱	۱۰	۵
٤ – کیفیت غذا	۵	۱۰	۵
۵ – زیستگاه‌های وحوش	۱	۱۵	۵
٦ – پی ساختمان و جاده	۵	۱۰	۵

جدول ۳-۲۰ چهار نقش احتمالی کیفیت خاک و وزن نسبی آن‌ها در تعیین مقاومت به فرسایش خاک، همراه با شاخص‌های قابل‌اندازه‌گیری برای هر نقش و وزن آن‌ها
توجه کنید به‌استثنای بافت خاک، اکثر شاخص‌ها خصوصیاتی هستند که می‌توانند به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای تحت عملیات مدیریت خاک تحت تأثیر باشند. توجه کنید امکان ورود آب، که با نفوذپذیری قابل اندازه‌گیری است به‌نظر می‌رسد ۵۰ درصد این نقش را داشته باشد. در مقابل تخریب، که اساسا به‌وسیله‌ی پایداری خاکدانه‌ها اندازه‌گیری می‌شود، دارای اهمیت دوم می‌باشد. توجه کنید که اکثر شاخص‌های قابل اندازه‌گیری در فصول قبل مورد توجه قرار گرفته‌اند.

نقش کیفیت خاک	وزن نقش	شاخص اندازه‌گیری	وزن شاخص
۱ امکان ورود آب	۵۰	میزان نفوذ	۵۰
۲ مقاومت در برابر تخریب	۳۵	پایداری خاکدانه ها	۲۷
		مقاومت برشی خاک	٤
		بافت خاک	۲
		ظرفیت انتقال حرارتی	۲
۳ سهولت انتقال آب ونگهداری‌آن	۱۰	ضریب آبگذاری	۵
		تخلخل	۲
		منافذ درشت	۳
٤ رشد پایدار نبات	۵	عمق ریشه‌دوانی	۱
		روابط آب	۲
		روابط تغذیه‌ای	۱
		موانع شیمیایی	۱

۲-۲۰ پایداری توان تولید زیستی

هیچ‌یک از نقش‌های خاک بیشتر از پایداری توان تولید زیستی در زندگی تمام موجودات زنده تأثیرگذار نیست. بقای انسان در طول قرون وابسته به این نقش بوده است، و به نظر می‌رسد که همچنان تداوم داشته باشد. برهمین منوال، بقای تعداد موجودات بی‌شمار خاک وابسته به ظرفیت خاک برای حفظ توان تولید زیستی است. حال توجه خود را به تأمین نیازهای بشر به غذا و پوشاک معطوف می‌داریم. زیرا بقای سایر موجودات اغلب وابسته به چگونگی تأمین این نیازهای انسان است. ما مسایل تولید غذای جهانی را مورد بررسی قرار می‌دهیم. چگونه از عهده این مسأله برآمده‌ایم و چگونه کیفیت خاک از اقدامات ما بهره برده و یا زیان دیده است.

نخستین ده هزار سال

از طلوع کشاورزی یعنی از حدود ۱۰ هزار سال قبل، مردم جنگل‌ها و علف‌زارها را برای استفاده از زمین در کشت محصولات غذایی و پوشاکی برای خانواده درحال رشد خود از بین برده‌اند. در ابتدا، به‌دلیل این‌که اراضی فراوانی وجود داشت و شمار مردم نسبتا اندک بود، تغییر از پوشش گیاهی طبیعی بیشتر پایدار به نظام‌های کشاورزی کمتر پایدار فقط اثرات محلی بر کیفیت خاک داشت.

با افزایش تعداد جمعیت، توان تولید خاک در مناطق وسیعی دچار تزلزل شد. نمونه‌ها شامل شوری‌شدن اراضی بسیار پرتولید آبی بین‌النهرین در خاورمیانه (بخش ۳-۱۰ را مشاهده کنید) و فرسایش شدید آبی اراضی تپه‌ماهوری بود که یونانی‌ها و رومی‌ها برای تولید غذا وابسته به آن بودند (شکل ۲۱-۱۷). این مردم به اراضی کم‌ازدحام در آفریقای شمالی و اروپا برای تولید غذا روی آوردند. درنتیجه، تخریب کیفیت خاک در این روزگاران اولیه فقط دارای اثرات جهانی متوسط بود.

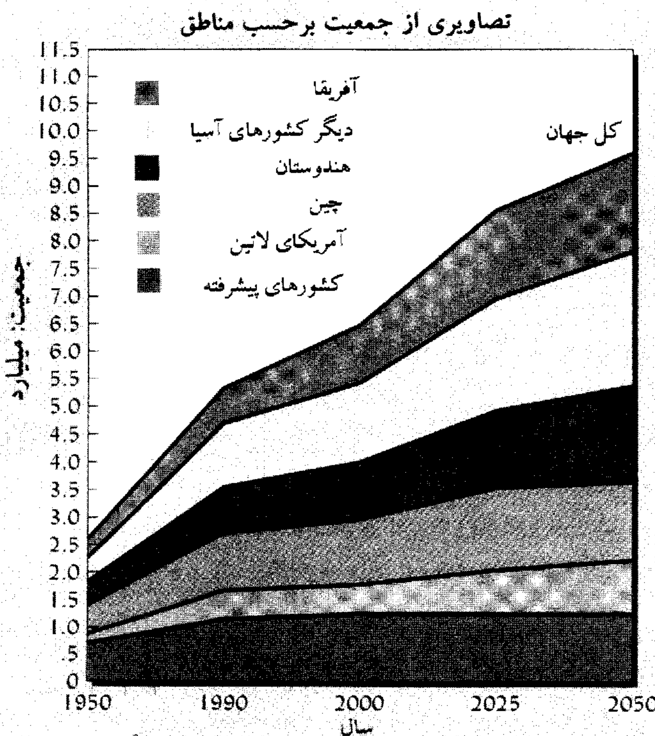
با افزایش جمعیت بشر، توان تولید خاک‌های تحت کشت و زرع دچار تزلزل گردید. غذای اضافی برای جمعیت درحال ازدیاد عمدتاً با گسترش اراضی زیر کشت، اما نه با افزایش عملکرد به‌دست آمد. این امر مخصوصاً بعد از کشف نیمکره‌ی غربی به‌وسیله‌ی اروپاییان حقیقت داشت، که خاک‌های بکر آن‌ها به‌زودی مواد غذایی را نه‌تنها برای ساکنان محلی بلکه برای صادرات به دیگر بخش‌های دارای کمبود غذا نیز فراهم نمود.

نیم‌قرن گذشته

تنها در نیم‌قرن گذشته فشار بر اراضی برای تولید غذا چنین شدید شده و سبب گردیده است که مردم جانشین‌هایی را به‌جای اراضی کشاورزی در تأمین نیازهای بشری از نظر غذا و پوشاک[1] مورد ملاحظه قرار دهند. این تغییرات هم ناشی از افزایش غیرقابل انتظار تعداد جمعیتی است که باید تغذیه شوند، و هم ارتقا توان مردم برای خرید غذا و پوشاکی است که دیگران تولید می‌کنند. اول با انفجار جمعیت آغاز می‌کنیم.

۳-۲۰ انفجار جمعیت

معجزات نوین پزشکی به‌دنبال جنگ جهانی دوم سبب افزایش ناهمگون جمعیت و تقاضا برای مواد غذایی گردید (شکل ۲-۲۰). این تقاضا به‌وسیله‌ی زارعین، که در نیم‌قرن گذشته بیشتر از ۱۰۰۰۰ سال تاریخ کشاورزی غذا تولید کرده‌اند، برآورده شده است. برای دست‌یابی به این هدف لازم بود که (۱) جنگل‌های بومی و علف‌زارهای دارای کمبود رطوبت، که اکثر آن‌ها برای کشت‌وکار مناسب نیستند به زیر کشت برده شوند و یا (۲) افزایش تراکم کشت و عملکرد در هکتار در اراضی حاصلخیز که قبلا زیر کشت بودند انجام گردد. هر دو منبع ارتقای تولید مورداستفاده قرار گرفتند، اما اکثر غذای موردنیاز از تولید بیشتر در اراضی زراعی موجود به‌دست آمد (جدول ٤-۲۰). همان‌طورکه خواهیم دید، هر دو این راه‌کاری‌های افزایش تولید مواد غذایی پیامدهای ناگواری برای کیفیت خاک‌های جهان داشته است.



شکل ۲-۲۰ از آغاز زندگانی نسل بشر تا سال ۱۹۶۰، جمعیت جهانی به حدود ۳ بیلیون نفر افزایش یافت، حدود ۴۰ سال دیگر نیاز بود که این جمعیت به ٦بیلیون برسد. در سال ۲۰۲۵ انتظار می‌رود که جمعیت در کل به۸/۵ میلیارد نفر برسد. توجه کنید که تمام رشد اساساً در کشورهای درحال توسعه و مناطقی است که برای تأمین غذای جمعیت درحال‌رشد خود اکنون در فشار می‌باشند.

[1] -نیازهای بشر برای مواد رشته‌ای که برای ساخت پارچه، کاغذ، تخته، ریسمان، پوشش وغیره به‌کار می‌روند با تعداد جمعیت انسانی نیز افزایش یافت. نباتاتی مانند پنبه، کنف و درختان برای کمک به برآورد این نیازها مورد استفاده می‌باشند درحالی‌که توجه عمده‌ی ما بر توسعه‌ی نیازهای غذایی است، تقاضا برای مواد رشته‌ای نیز با افزایش جمعیت بشری افزایش می‌یابد.

جدول ٤-٢٠ درصد افزایش تولید مواد خوراکی در بین سال‌های ۱۹٦۳ - ۱۹٦۱ ,۱۹۹۰ -۱۹۹۸ در ارتباط با سطح اراضی تحت کشت و افزایش عملکرد در هکتار.

منطقه	افزایش عملکرد درارتباط با	
	درصد افزایش سطح منطقه	درصد افزایش عملکرد (الف)
کشورهای کم‌درآمد		
آفریقای جنوب صحرا	٤۷	۵۲
امریکای لاتین	۳۰	۷۱
خاورمیانه و شمال آفریقا	۲۳	۷۷
جنوب آسیا	۱٤	۸٦
شرق آسیا	٦	۹٤
کشورهای پردرآمد	۲	۹۸
جهان	۸	۹۲

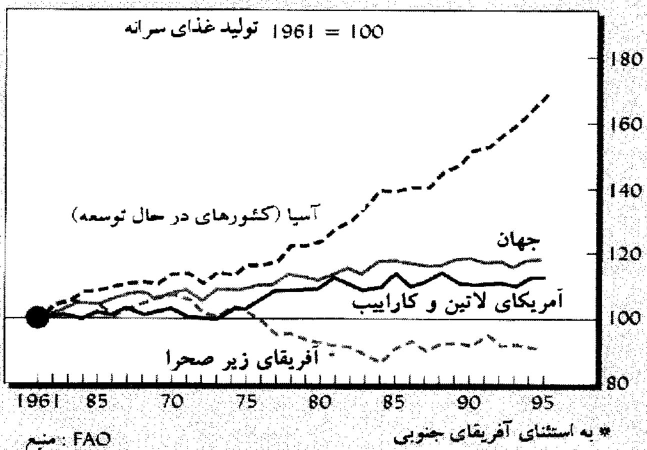
(الف) هم شامل افزایش تعداد محصولات در سال و هم افزایش عملکرد در هکتار می‌باشد.

٤-۲۰ کشاورزی پرنهاده- انقلاب سبز

هنگامی‌که انفجار جمعیت به‌دنبال جنگ جهانی دوم آشکار گشت، بسیاری از دانشمندان فقر گسترده‌ای را پیش‌بینی کردند. برآورد آن‌ها اساساً بر این فرض بودکه همانند سابق، توسعه‌ی اراضی تحت کشت‌وکار اولین وسیله برای افزایش تولید مواد غذایی است. آن‌ها امکانات افزایش تولیدات را در آن اراضی که قبلا زیرکشت بودند فراموش کرده و دچار اشتباه بودند.

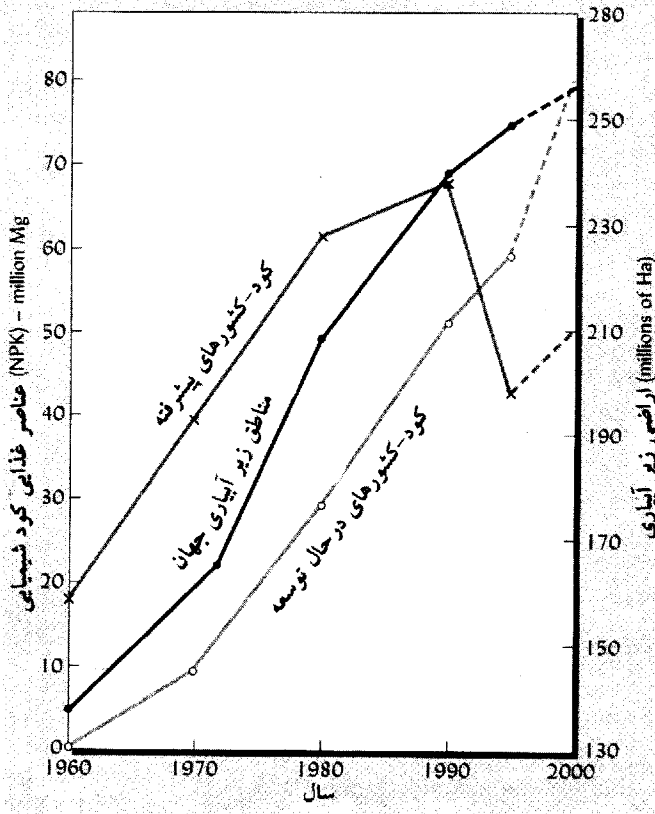
دانشمندان و زارعین همکار با آن‌ها نظام‌های مدیریت پرنهاده‌ی آب و خاک را که سبب افزایش غیرهمسان تولید مواد غذایی در کشورهای درحال توسعه، به‌خصوص آسیا و آمریکای لاتین شده بود، توسعه داده و مورد استفاده قرار دادند. تولید مواد غذایی بسیار سریع‌تر از میزان جمعیت در اکثر مناطق عمده، به‌استثنای آفریقای جنوب صحرا (شکل۲-۲۰) افزایش یافت. برداشت غلات از سال ۱۹۵۰ تا ۱۹۹۰ تقریباً سه برابر شد درنتیجه ترس از فقر شدید برطرف گردید و قیمت مواد غذایی (عمدتاً غلات) در واقع کاهش یافت. قیمت‌های پایین مواد غذایی در هر جا برای مردم در شهرها، و همین‌طور مناطق روستایی مفید واقع شد.

افزایش گسترده‌ی تولیدات درنتیجه نظام‌های مدیریت مزرعه بود که از تلفیق ارقام پرمحصول جدید غلات با آب قابل استفاده بیشتر از طریق آبیاری و افزایش شدید میزان عناصر غذایی حاصل از کودهای شیمیایی به‌دست آمد (شکل ٤-۲۰). نظام‌های تک‌کشتی به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفت و سالانه ۲ و یا سه نوع محصول برداشت گردید.



شکل ۳-۲۰ تغییرات مقدار مواد غذایی سرانه در مناطق مختلف جهان بین سال‌های ۹۵-٦۱ مقدار تولید در هر فرد به‌طور جهانی حدودا ۲۰٪ افزایش یافت. اما در کشورهای درحال توسعه آسیا افزایش حدود ۷۰ درصد بود. تنها در آفریقای جنوب صحرا (به‌استثنای آفریقای جنوبی) میزان تولید سرانه کاهش یافت. اکثر افزایش عملکرد درنتیجه کشاورزی پرنهاده بود.

بیشتر از ۷۰درصد افزایش حاصل از نظام‌های کشت‌وکار پرنهاده و بقیه آن‌ها از افزایش اراضی تحت کشت‌وکار به‌دست آمده است. نتایج در آسیا و آمریکای لاتین بسیار برجسته بود، که در آن‌جا واژه انقلاب سبز برای تشریح فرایند به‌کار گرفته شده‌است. برای مثال، عملکرد گندم در هندوستان از اول سال ۱۹٦٦ چهارصد درصد رشد کرد. عملکرد برنج در اندونزی و چین بیشتر از دو برابر گردیده است. میزان مصرف انرژی به حدود ۲۷۰۰ کیلوکالری رسید که حدوداً ۱٦ درصد بالاتر از حداقل نیازها است. گرچه میلیون‌ها نفر هنوز گرسنه باقی مانده‌اند، تغذیه انسانی نیز در بین مردم فقیر افزایش بسیار یافت، زیرا قیمت واقعی این غلات به ۷۵٪ کاهش پذیرفت و برای شهروندهای کم‌درآمدتر بسیار قابل‌دسترس گشت.



شکل ٤-۲۰ افزایش مصرف کود در کشورهای صنعتی و کشورهای درحال‌رشد و در مناطق تحت آبیاری‌جهان از سال ۱۹٦۰. به افزایش ۲۵ برابری مصرف کود درکشورهای در حال توسعه و به دو برابرشدن مساحت اراضی تحت آبیاری در جهان توجه کنید. کاهش مصرف کود در کشورهای صنعتی عمدتاً از سال ۱۹۹۰ مربوط به کاهش مصرف در کشورهای سابق اتحاد جماهیر شوروی است، هرچند مصرف در آمریکا و اروپا بدون تغییر باقی مانده است.

۵-۲۰ اثرات کشاورزی پرنهاده بر کیفیت و یا سلامت خاک

مطالعات اندکی درمورد اثر تولید پرنهاده بر کیفیت خاک به‌طور کمّی انجام شده است، اما شواهد غیرمستقیم حاکی از وجود اثرات هم مثبت و هم منفی می‌باشند.

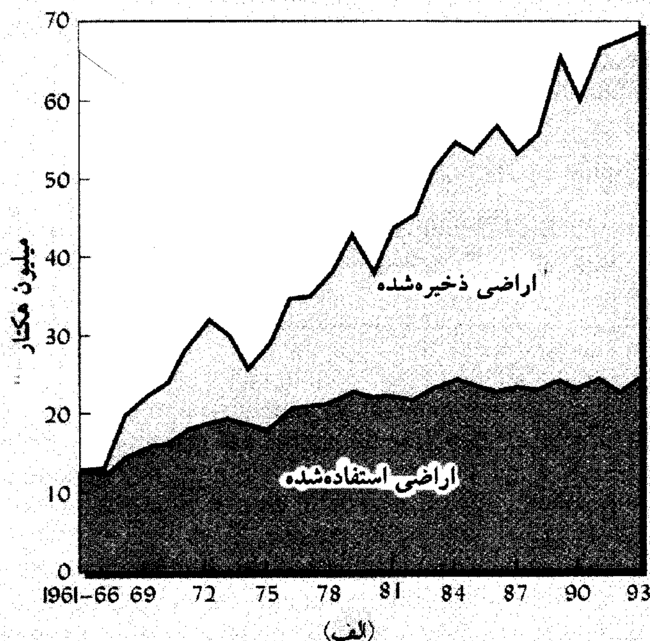
اثرات مثبت

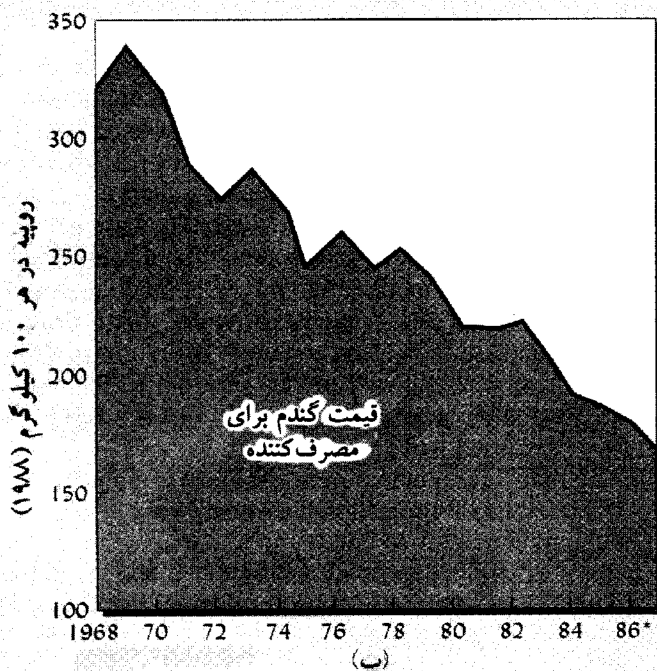
بخش کشاورزی پرنهاده معمولاً سبب حفظ و یا حتی افزایش سطح بعضی از عناصر پرمصرف در خاک شده است. زیرا این عناصر معمولاً از منابع خارجی مانند کود دامی، آهک و کودهای شیمیایی تأمین می‌شوند. وقتی کاربرد مناسب و متعادل کودهای شیمیایی اعمال شده است، مقدار اجزاء K,P,N کیفیت خاک ارتقاء یافته است.

کشاورزی پرنهاده همچنین سبب بالارفتن تولید محصول و امکان افزایش پس‌مانده‌های گیاهان مربوط به آن گردید، که می‌توانند به خاک برگشت داده شده سبب ایجاد خاک‌پوش، کاهش فرسایش خاک و حفظ و یا افزایش مقدار ماده‌ی آلی خاک (جدول ۵-۲۰) شوند. بنابراین، کیفیت خاک درصورت برگشت بخش اعظم پسمانده‌های گیاهی به خاک به‌طور مثبت تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

سومین و احتمالاً اثر مهم‌تر پرنهاده‌کردن کشاورزی تمایل به کاهش فشار بر اراضی آسیب‌پذیر است که در غیراین‌صورت ممکن بود به‌خاطر تولید غذای مورد نیاز، بیشترآن‌ها از پوشش عاری و به زیر کشت‌وکار برده شوند. کشاورزی عمدتاً در خاک‌ها با توان تولید بالاتر و نسبتاً مسطح،

پرنهاده شده است، در آن‌جا خطر فرسایش زیاد نیست. با تولید اکثر غذای اضافی در این خاک‌ها نیاز به توسعه کشاورزی در اراضی آسیب‌پذیرتر کاهش یافته است. شکل ۵-۲۰ این نکته را در مورد هندوستان تشریح می‌کند که درصورت عدم افزایش عملکرد حاصل از انقلاب سبز، این کشور مجبور بود که ۴۲ میلیون هکتار یعنی مساحتی معادل پهنه‌ی کالیفرنیا را عمدتاً از جنگل‌ها به زیر کشت برد. در مقیاس جهانی، بیشتر از ۶۰۰ میلیون هکتار مساوی سطح اراضی حوزه‌ی آمازون به‌خاطر افزایش عملکرد محصول غلات ذخیره شده است. تقریباً مشخص است که کیفیت خاک‌ها در اراضی جنگلی و علف‌زار، در مناطقی که کشاورزی پرنهاده در اراضی مسطح اعمال نشده واین اراضی به زیر کشت برده شده‌اند، به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافته است.



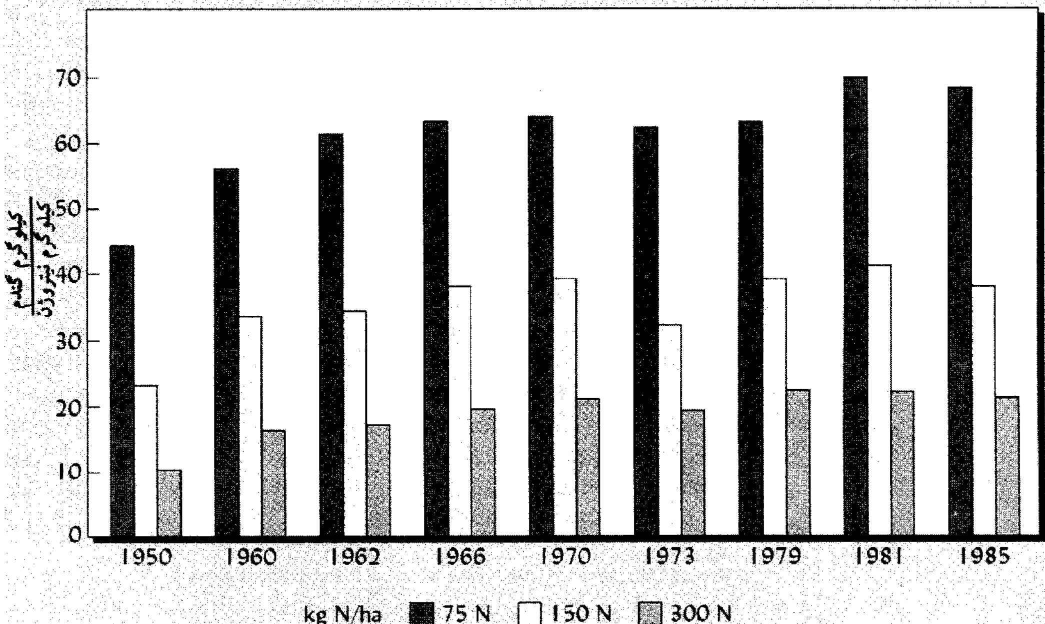


شکل ۵-۲۰ (الف) اگر قرار بود هندوستان میزان تولید گندم امروزی را با فناوری ابتدای دهه ۶۰ داشته باشد می‌بایست ۴۰ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی بیشتر از امروز به زیر کشت می‌برد. اکثر این اراضی کشاورزی می‌بایست از اراضی جنگلی فرسایش‌پذیر با شیب‌های تند به‌دست می‌آمد (ب) تولید پرنهاده‌ی افزایش یافته همزمان سبب کاهش قیمت برای مصرف‌کننده (اکثرا مردم فقیر) گندم می‌باشد.

جدول ۵-۲۰ اثر ۳۰ سال کشت مداوم برنج (۳ محصول در سال) با مصرف کود نیتروژنی و بدون مصرف آن، برروی میزان مادهٔ آلی و نیتروژن کل در یک خاک در فیلیپین. به مقادیر بالای نیتروژن آلی و کربن درخاک با مصرف سنگین نیتروژن (۳۳۰ کیلوگرم درهکتار در سال) توجه کنید. فسفر و پتاسیم در تمام کرت‌ها مصرف شدند.

سال	میزان کل کربن آلی خاک $g.kg^{-1}$		میزان نیتروژن کل در خاک $g.kg^{-1}$	
	بدون مصرف نیتروژن	با مصرف ۳۳۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال	بدون مصرف نیتروژن	با مصرف ۳۳۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال
۱۹۶۳	۱۸/۳	۱۸/۳	۱/ ۹٤	۱/۹٤
۱۹۷۸	۱۸/۸	۲۱/٤	۱/۹۷	۲/۲۲
۱۹۸۳	۱۸/۷	۲۱/٤	۱/۹۵	۲/۱٤
۱۹۸۵	۲۰/٤	۲۳/۹	۲/۰۷	۲/۳۸
۱۹۹۱	۲۰/٤	۲۳/۵	۱/۹۷	۲/۲۷
۱۹۹۲	۲۰/۷	۲۳/۰	۲/۰۹	۲/۳

جنبه احتمالی دیگر انقلاب سبز افزایش بازدهٔ مصرف عناصر غذایی در بعضی از ارقام اصلاح شده غلات (شکل ۶-۲۰) است. برای نمونه وقتی ۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به ارقام گندم سنتی درسال ۱۹۵۰ داده می‌شد. فقط ٤۵ کیلوگرم از هر کیلوگرم نیتروژن مصرف‌شده به‌دست می‌آمد. ارقام اصلاح شده سال‌های میانی دههٔ ۸۰ به ازای مصرف هر کیلوگرم نیتروژن ۷۰ کیلوگرم گندم تولید می‌کردند. به بازدهٔ کمتر تمام ارقام در صورت مصرف مقادیر زیاد عناصر توجه کنید.

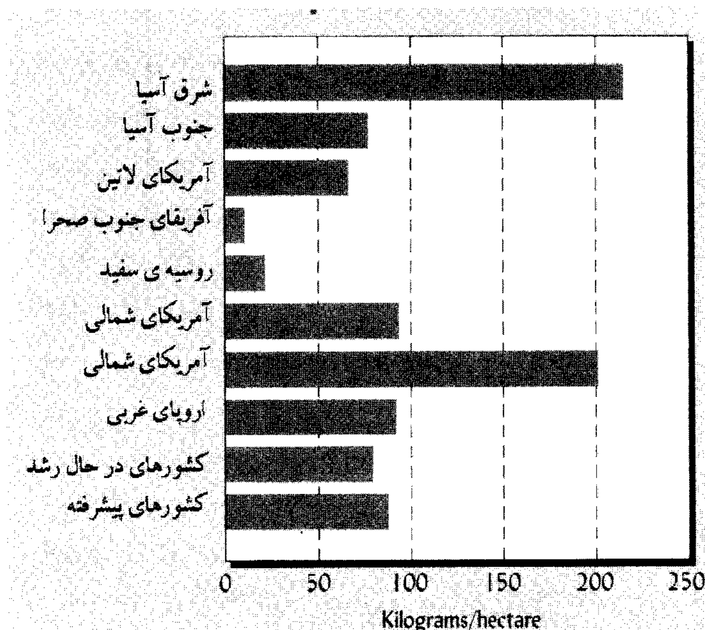


شکل ۶-۲۰ کارایی استفاده از نیتروژن در ارقام بومی گندم در سال ۱۹۵۰ درمقایسه با ارقام اصلاح شده که هنوز در کشاورزی پرنهاده در کشورهای درحال‌توسعه مورد استفاده می‌باشند. در تمام مقادیر مصرف نیتروژن، ارقام اصلاح شده دارای کارآیی بیشتری از ارقام سنتی سال ۱۹۵۰ هستند. توجه کنید که بازده استفاده از نیتروژن در مقادیر بالای مصرف (۱۵۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم) بسیار کمتر از مقادیر مصرف متوسط ۷۵ کیلوگرم در هکتار می‌باشد.

اثرات منفی

کشاورزی پرنهاده همچنین دارای اثرات منفی بر کیفیت بعضی از خاک‌ها می‌باشد. مصرف کودهای شیمیایی سبب عرضه‌ی مقدار فراوان نیتروژن، فسفر و در بعضی موارد پتاسیم[1] می‌شود. هرچند، برداشت سایر عناصر غذایی در محصولات با عملکرد بالا اغلب سبب کمبود عناصر کم‌مصرف می‌گردد. همچنین اکسایش نیتروژن موجود در کودهای شیمیایی سبب کاهش اسیدیته خاک می‌شود. هر دو اثر سبب پایین‌آمدن کیفیت خاک می‌شوند.

عناصر غذایی زیادی : در بسیاری از مناطق جهان مانند آسیای شرقی و اروپای غربی(شکل ۷-۲۰) عناصر غذایی مانند نیتروژن و فسفر بسیار بیشتر از جذب نبات استعمال می‌شود. طی زمان مقادیر این عناصر غذایی در خاک افزایش پیدا کرده و به‌صورت مواد آلاینده به داخل رواناب، زهاب و نیوار وارد می‌شوند. اعتقاد براین است کیفیت خاک به‌خاطر تأثیر مواد خارج‌شده از خاک در محیط زیست کاهش می‌یابد.



شکل ۷-۲۰ مقادیر مصرف کودهای شیمیایی در مناطق انتخاب‌شده‌ی جهان در سال ۱۹۹۵. به مصرف مقادیر بسیار بالا در شرق آسیا که در آن‌جا چندکشتی معمول است و در غرب اروپا که کشاورزی پرنهاده دایر است توجه کنید. در هر دو جا، مناطقی با مصرف بیش از حد مشخص شده است. همچنین به مقادیر بسیار پایین در مناطق آفریقای‌جنوب صحرا و روسیه‌ی سفید (ایالت‌های تازه استقلال یافته اتحاد جماهیر شوروی سابق) که تولید محصول به‌خاطر کمبود عناصر غذایی محدود شده است، توجه کنید. مصرف کود شیمیایی در آمریکا در حد متوسط جهانی است. درحالی‌که نظام‌هایی با مصرف زیاد در مناطق تحت آبیاری و مناطق نیمه‌مرطوب وجود دارند، با مصرف بسیار اندک در مناطق وسیع دیم که در آن‌جا به‌جای کمبود عناصر غذایی آب اولین عامل محدودکننده‌ی تولید است، مصرف کود متعادل می‌شود.

شورشدن: شورشدن حاصل از آبیاری اثر منفی دیگر کشاورزی پرنهاده بر کیفیت خاک است. برای نمونه میزان افزایش نمک به خاک‌های تحت آبیاری ایالت آریزونا معادل ۳۵۰ کیلوگرم برای هر نفر از جمعیت ٤ میلیونی این ایالت می‌باشد. در مقیاس جهانی حدود ۳۰ درصد اراضی تحت آبیاری به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر شورشدن (به لغت‌نامه انتهایی مراجعه کنید) می‌باشند، در بعضی موارد شورشدن چنان شدید است که اراضی متروکه شده‌اند.

آفت‌کش‌ها : آفت‌کش‌های شیمیایی، که معمولاً در نظام‌های کشاورزی پرنهاده مصرف می‌شوند، می‌توانند به‌طور منفی در کیفیت خاک تأثیرگذار باشند. درحالی‌که مواد شیمیایی آلی به‌طور منفی در طیف گسترده‌ای از ریزجانداران خاک مؤثر است، دیگر آفت‌کش‌ها انتخابی عمل کرده و در کاهش تنوع زیستی بیشتر از جمیت کل تأثیرگذار می‌باشند. بعضی از خاک‌ها که ده‌ها سال قبل مقادیر بالایی آفت‌کش‌های حاوی ارسنیک و یا مس در آن‌ها مصرف شده است، هنوز دارای مقادیر مهلک این مواد شیمیایی در خاک می‌باشند. به‌خاطر اثرات نامشخص آفت‌کش‌های معمولی بر کیفیت خاک، نظام‌های مدیریت تلفیقی آفت[2] که سبب کاهش مصرف این مواد شیمیایی است باید مورد تأکید قرار گیرد.

1- وقتی اراضی عاری از پوشش طبیعی (جنگل و مرتع) به زیر کشت برده شوند، کمبود نیتروژن و فسفر اول ظاهر می‌شود و کودها برای برآورده‌کردن این نیازها مصرف می‌شوند، هرچند برداشت پتاسیم نیز به‌وسیله‌ی گیاه سبب پایین‌آمدن مقدار آن دربعضی خاک‌ها می‌شود، به‌خصوص خاک‌هایی که شدیداً هوادیده، و فاقد رس‌های ۲:۱ به‌خصوص ایلیت می‌باشند

2 -Integrated Pest Management Systems(IPM)

برنامه‌ی غذایی سالم : نظام‌های پرنهاده‌ی کشاورزی عمدتاً برروی غلات، مانند گندم، ذرت و برنج که نصف کالری جهانی را تأمین کرده و عکس‌العمل خوبی به نهاده‌های خارجی مانند آب و کودها نشان می‌دهند، متمرکز گردیده و متأسفانه توجه کمتری به حبوبات (لوبیا نخودها و عدس‌ها)، میوه‌ها و سبزی‌ها معطوف شده است. درنتیجه، عملاً اراضی زیر کشت این محصولات در بعضی از کشورها کاهش یافته است. برای نمونه در هندوستان مساحت اراضی اختصاص‌یافته به حبوبات از سال ۱۹۷۰، ۱۳درصد کاهش یافته است. این امر اثرات زیان‌باری بر سلامت انسان داشته است، زیرا درمقایسه با غلات، حبوبات معمولاً از نظر پروتیین و عناصر کم‌مصرف و سبزی‌های برگی از نظر ویتأمین بالاتر می‌باشند. امراض انسانی در ارتباط با کمبود عناصر کم‌مصرف مانند آهن و روی، و ویتأمین A در کشورهای حاره‌ای شایع است. همچنین معمولاً پس‌مانده‌های حبوبات سبب ارائه نیتروژن آلی گردیده که به آهستگی برای گیاه بعدی آزاد می‌شود. در واقع تأکید بیش از حد برروی غلات سبب کاهش کیفیت خاک در بسیاری از کشورهای جهان شده است.

امراض نباتی: انقلاب سبز نیز همین‌طور اثرات منفی بر کیفیت خاک داشته است، زیرا ارقام اصلاح‌شده معمولاً به‌صورت تک‌کشتی و به‌دنبال‌هم در فصول مختلف کشت شده‌اند. تحقیقات در بعضی مناطق کاهشی را در توان تولید زیستی نظام‌های تک‌کشتی نشان داده‌اند. این ممکن‌است این امر براثر تجمع عوامل بیماری‌زا و یا مواد شیمیایی آسیب‌رسان[1] باشد که برای نبات مهلک بوده و یا سبب کاهش میزان ریزجانداران خاک می‌شوند. ممکن‌است کاهش همچنین در ارتباط با تنوع زیستی کمتر در خاک‌های نظام تک‌کشتی باشد، خصوصیتی که حاصل تنوع اندک در پس‌مانده‌های گیاهی و جانداران همراه می‌باشد که در تجزیه آن‌ها شرکت می‌کنند. درهرحال، وقتی نظام‌های کشت از مزایای تناوب زراعی بهره نمی‌برند سلامت و یا کیفیت خاک در ارتباط با آن‌ها کاهش می‌یابد.

کاهش تنوع زیستی : ممکن‌است کشاورزی متمرکز با نهاده‌های زیاد به‌طور معنی‌داری در فراوانی و تنوع زیستی جانداران خاک مؤثر باشد. می‌دانیم که بریدن و کشت اراضی جنگلی سبب کاهش تعداد قارچ‌ها و افزایش تعداد نسبی باکتری‌ها می‌شود (فصل۱۵-۱۱ را مشاهده کنید). نسبت زیتوده‌ی قارچ‌ها به باکتری‌ها در خاک‌های تحت کشت ۱ : ۱، در کمینه عملیات خاک‌ورزی ۱ :۳ و در مناطق جنگلی بیش از ۱ : ۱۰۰ است. برهمین‌منوال، نظام‌های تک‌کشتی به‌خصوص در آن‌هایی که پس‌مانده‌های گیاهی برداشت شده و یا سوزانده می‌شوند سبب کاهش تعداد کرم‌های خاکی و سایر جانداران درشت خاک درمقایسه با تعداد آن‌ها در نظام‌های دارای تناوب کشت می‌گردند.

اثرات تمرکز نهاده‌ها در تنوع زیستی در بین گونه‌های باکتری‌ها تا حدی کمتر مشخص است زیرا اندازه‌ی فوق‌العاده کوچک آن‌ها اندازه‌گیری تنوع را در آن‌ها مشکل می‌سازد. هرچند ظهور ادوات پیشرفته جدید زیستی مولکولی که امکان تجزیه DNA را فراهم می‌سازد قبلاً ارتباط نزدیک بین میکروب‌های متعدد خاک را نشان داده و مشخص ساخته است که این ارتباط با تغییر محیط‌های نباتی تغییر می‌کند.

در فصل ۵-۱۶ استدلال نمودیم که نظام‌های تولید احشام متمرکز می‌توانند در کیفیت خاک تأثیر داشته باشند. درحالی‌که این نظام‌ها از نظر تبدیل علوفه به پروتیین کارا هستند، دارای اثرات منفی برروی کیفیت و سلامت خاک می‌باشند. آن‌ها تولیدات گیاهی را از مناطق وسیع برداشت نموده و در یک کارخانه‌ی تولید حیوانی متمرکز می‌سازند، که فضولات حاصل از آن‌ها اغلب سبب آلودگی خاک‌های اطراف نظام‌های خاکی و آبی به‌وسیله‌ی نیتروژن، فسفر و عوامل بیماری‌زا می‌شود. کیفیت خاک با این تمرکز به‌طور منفی تحت تأثیر قرار خواهد گرفت.

۲۰-۶ تمرکز تولید برنامه‌ریزی نشده

نوع دوم تمرکز تولید محصولات، که به زارعین بومی در اثر افزایش سنگین جمعیت آن‌ها در نیمه‌ی دوم قرن گذشته تحمیل شده است، نیز وجود دارد. در سراسر جهان، میلیون‌ها مردم و اجداد آن‌ها از نظام‌های دامپروری و تولیدات گیاهی استفاده کرده‌اند که متکی به پوشش طبیعی برای نوسازی کیفیت خاک در فواصل کاربری‌ها می‌باشند. در نسبت‌های اندک جمعیت به منابع طبیعی که در نسل‌های اولیه وجود داشت، این نظام‌ها به‌طور معقولی پایدار بوده‌اند، اما با افزایش تعداد جمعیت، به‌دلیل گسترش خانواده‌ها و مهاجرت خانواده‌های بیشتر از سایر مناطق، این

---

[1] -Allelochemicals

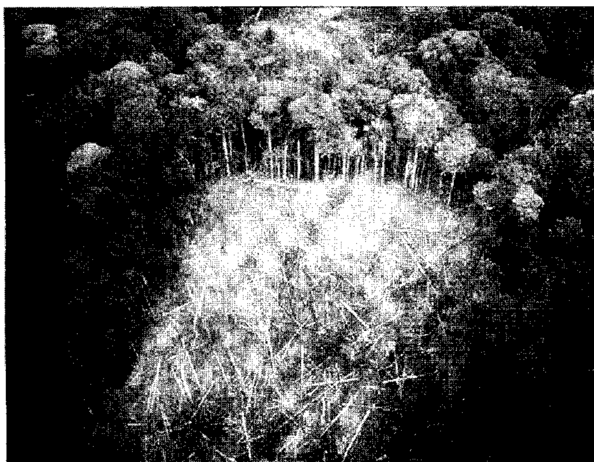
نسبت به‌طور سرسام‌آور افزایش یافته و زمین بی‌رویه مورد استفاده قرار گرفته، و زمان برای تجدید حیات خاک[1] به‌مقدار زیادی کاهش یافته است. ما به‌طور مجمل اثرات سه نوع از این نظام‌های تمرکز اجباری را برروی خصوصیات خاک مورد تشریح قرار خواهیم داد.

کشاورزی جای‌گردان[2]

یکی از این نظام‌های بومی، نوعی کشاورزی نوبتی است که طی نسل‌ها در جنگل‌های گرمسیری در سرتاسر جهان مورد عمل قرار گرفته است. این نظام شامل قطع درختان و سوزاندن آنها در کرت‌های کوچک در جنگل (شکل۸-۲۰) می‌باشد، که در آن محصولات غذایی برای چندسال تولید می‌شود تا آنکه عرضه عناصر غذایی حاصل از خاکستر به پایان رسیده، و یا گیاهان هرز غیرقابل تحمل گردند، در این‌صورت زارع برای بریدن و سوزندان کرت دیگر به محل دیگری رفته و آنرا برای چند سال مورد کشت قرار داده، و سپس آنرا ترک می‌کند. این فرایند آنقدر تکرار می‌شود تا بعد از حدود ۱۰ تا ۲۰ سال، محل اولیه بار دیگر از پوشش طبیعی نسبتاً متراکم پاک و سوزانده شده و فرایند جابه‌جایی کشت‌وکار از یک محل به محل دیگر تکرار می‌شود. در طول ۱۰ تا ۲۰ سال رشد مجدد پوشش گیاهی کیفیت خاک را با اضافه‌کردن بقایای آلی، بازچرخ عناصر از بخش‌های عمیق خاکرخ و تثبیت نیتروژن نیوار تا حدی نوسازی می‌کند.

متأسفانه، تعداد افراد متکی به کشاورزی جای‌گردان در نیم‌قرن گذشته به‌طور سرسام‌آوری افزایش یافته است. امروزه، حداقل ۳۰۰ میلیون نفر مردم فقیر، عمدتاً در مناطق گرمیسر و نیمه‌گرمسیر، وابسته به این نظام‌های جابه‌جایی کشت برای تأمین غذا و زندگی خود می‌باشند. مساحت زمین‌هایی که در آن به نوعی کشاورزی جای‌گردان انجام می‌شود بسیار زیاد بوده و به ۳۰ ٪ کل اراضی قابل کشت جهان می‌رسد. در آفریقا کشت‌وکار جای‌گردان باعث ازبین‌رفتن حدود ۷۰ درصد جنگل‌های گرمسیری گردیده است.





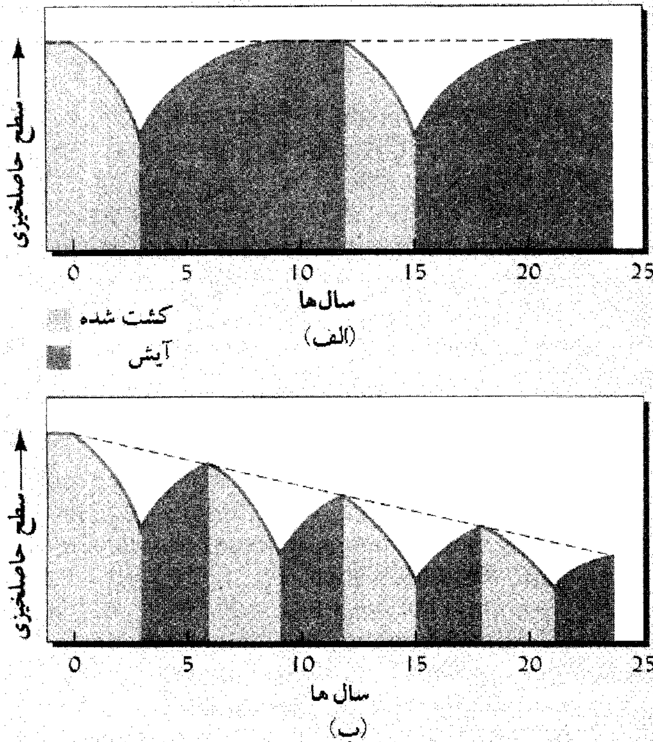
شکل ۸-۲۰ (چپ) منظره‌ی هوایی محل عملیات قطع و سوزندان درخت در آمازون. درختان قطع شده وآماده سوزاندن می‌باشند. در عقب عکس قطع درختان به‌طور مشابه درحال انجام است.(راست) در مزرعه دیگر که قطع و سوزانده شده است، یک ردیف ذرت کشت شده و دیگر نباتات در تناوب با آن می‌آیند. به نبود گیاهان هرز در این حالت توجه کنید، اما بعداز چند سال، آلودگی گیاهان هرز و ازبین‌رفتن حاصلخیزی، کشاورز را مجبور می‌سازد که به منطقه‌ی دیگری عزیمت کند.

افزایش تقاضا برای غذا سبب اعمال فشار برای کم‌کردن دوره آیش در این نظام‌ها گردیده و برگشت به کرت‌های اولیه قطع و سوزانده شده الزاماً به بیشتر از ٤ تا ۵ سال نمی‌رسد (شکل۸-۲۰). زمان تجدید حیات خاک برای جبران عناصر غذایی و میزان ماده‌ی آلی و ممانعت از فرسایش خاک ناکافی است. بنابراین، فرسایش خاک افزایش، حاصلخیزی خاک کاهش و درنتیجه کیفیت خاک همراه با میزان عملکرد و رفاه

[1] – Rejuvenate: توانایی یک خاک برای بهبود، به‌دنبال تخریب خاک حاصل از تغییرات کاربری Soil resilience نامیده می‌شود.

[2] –Shifting agriculture : از آن‌جاکه اکثراً اشکال کشاورزی نوبتی شامل بریدن و سوزاندن پوشش موجود می‌باشد، واژه Slash – and – burn معمولاً برای تشریح این نظام‌ها به کار می‌رود. نظام‌های کشاورزی نوبتی بسیاری وجود دارند که از جابه‌جاشدن ساده‌ی گله‌های عشایر از یک منطقه به منطقه دیگر (قشلاق و ییلاق) تا نظام‌های کامل کشت‌وکار و تناوب در اراضی زیر پوشش جنگل متراکم متغیر می‌باشند.

خانواده تخریب می‌شود. شکل۹-۲۰ تفاوت بین نظام‌های سنتی پایدار را با نظام‌های پرنهاده‌ی امروزی که بسیاری از زارعین مجبورند از آن استفاده کنند، تشریح می‌کند.



شکل ۹-۲۰ تغییرات میزان حاصلخیزی در نظام کشاورزی جای‌گردان. (الف)در یک نظام با آیش طولانی، پوشش طبیعی قادر است که حاصلخیزی خاک را پس از کشت‌وکار احیا سازد. (ب)با یک دوره آیش کوتاه که در مناطق با فشار جمعیت زیاد معمول است، زمان تجدید حیات کوتاه بوده و کاهش حاصلخیزی سریع است.

نظام‌های قطع و سوزاندن همچنین اثرات منفی بر کیفیت نیوار دارد. برآورد می‌شود که گازکربنیک و دیگر گازهای آزادشده در فرایند سوزاندن ۲۵ درصدکل اثرات گرم‌شدن کره‌ی زمین را به‌عهده داشته باشند. برای جلوگیری از تخریب کیفیت هوا و خاک در این مناطق، کشاورزان نیازمند نظام‌های جایگزین مناسب به‌جای کشاورزی جایگردان متمرکز موجود می‌باشند که مجبور به انجام آن شده‌اند.

نظام‌های مرتعی کوچرو[1]

نظام‌های مرتعی کوچ‌کننده در اراضی با مالکیت عمومی مناطق خشک، همراه با افزایش جمیت انسانی و دوره‌های خشک‌سالی برروی کیفیت خاک به‌خصوص در منطقه‌ی (ساحل) آفریقا به‌طور منفی تأثیرگذار بوده‌اند. حداقل ۷۵ میلیون نفر در مناطقی که این مسایل در آن‌ها وجود دارد زندگی می‌کنند. افزایش تعداد احشام و یا حتی با تعداد ثابت دام و علوفه اندک برای مصرف، سبب چرای بیش از حد شده است. بیشتر گیاهان مرغوب خوش‌خوراک عمدتاً ازبین رفته، و بوته‌های نامرغوب غیرخوش‌خوراک باقی مانده‌اند. فرسایش بادی افزایش یافته (بخش ۱۱-۱۷ را مشاهده کنید)، و توان تولید زیستی کل همراه با کیفیت خاک کاهش یافته است. به‌نظر می‌رسد این تخریب به‌خاطر مجموع فشار مردم با بارندگی‌های اندک غیرمعمول باشد.

اراضی حاشیه‌ای و اراضی شهری

فشارهای جمعیت انسانی تا حدی سبب توسعه کشت محصولات در اراضی حاشیه‌ای برای کشاورزی مانند دامنه‌های پرشیب تپه‌های حساس به فرسایش شده است. بسیاری از خانوارهای بدون زمین در آمریکای مرکزی و جنوبی، آفریقا و آسیا برای زنده‌ماندن مجبور به استفاده از این اراضی می‌باشند. حدود ۸۰۰ میلیون نفر غذای خود را از کوهپایه‌های جنگلی به‌دست می‌آورند. برداشت عناصر غذایی خاک در محصول نهایی همراه با افزایش فرسایش، سبب کاهش توان تولیدزیستی و کاهش کیفیت خاک شده است.

[1] -Nomatic Pastoral Systems

آخرین اثر منفی بر کیفیت خاک از نظر توان تولید زیستی استفاده‌ی هرچه بیشتر از اراضی برای مصارف شهری، صنعتی و حمل‌ونقل است. مسأله گسترش اراضی شهری در آمریکا کاملا مشهود است، اما هدررفت مشابه اراضی کشاورزی نیز در سایر مناطق، به‌خصوص در کشورهای درحال‌توسعه، که در آن‌جا فشار جمعیت در بیشترین مقدار بوده و رشد اقتصادی بسیار چشم‌گیر است وجود دارد. برآورد می‌شود که توسعه مناطق شهری به‌تنهایی حداقل ۱ میلیون هکتار را سالانه مطالبه کند. به‌علاوه، این اراضی برای تولید محصول مرغوب‌ترین می‌باشند، زیرا شهرهای درحال رشد ابتدا در مناطقی ایجاد می‌شوند که از مزایای اراضی مرغوب زراعی برخوردار باشند.

قبل از آن‌که به آینده نظر داشته باشیم، باید به‌خاطر بسپاریم که در نیم‌قرن گذشته که در طول آن ۳ میلیارد هکتار دچار تخریب کیفیت خاک شده‌اند، چه‌کار کرده‌ایم (شکل ۱-۱۷ و جدول ۶-۲۰ را مشاهده کنید). اطلاعات جدول ۶-۲۰ مطرح می‌کند که اراضی کشاورزی ۳۸ درصد، مراتع دیم ۲۱ درصد، و اراضی جنگلی و درختزار ۱۸ درصد کاهش کیفیت خاک داشته‌اند. تخریب خاک در اراضی کشاورزی در آفریقا و آمریکای مرکزی بسیار شدید بوده، اما مسأله به تمام قاره‌ها گسترش یافته است. از آن‌جاکه انسان‌ها عمدتاً مسوول کاهش کیفیت خاک هستند، ما باید در وارونه‌کردن این شیوه در نگاه به آینده جسورانه عمل کنیم.

جدول ۶-۲۰ مساحت اراضی که برای کشاورزی، مرتع دایمی و جنگل و درختزار به‌کار می‌رود و برآورد درصد اراضی که دچار تخریب خاک (کاهش کیفیت خاک) ناشی از فعالیت انسان شده است. کاهش کیفیت خاک در اراضی کشاورزی، به‌خصوص در آفریقا و آمریکای مرکزی شدید است. در این مناطق بیشتر از دو سوم اراضی کشاورزی به‌طور منفی تحت تأثیر قرار گرفته‌اند.

کاربری اراضی	آفریقا	آسیا	آمریکای جنوبی	آمریکای مرکزی	آمریکای شمالی	اروپا	اقیانوسیه	جهان
مساحت اراضی کشاورزی (میلیون هکتار)	۱۸۷	۵۳۶	۱۴۲	۳۸	۲۳۶	۲۸۷	۴۹	۱۴۷۵
درصد تخریب شده	۶۵	۳۸	۴۵	۷۴	۲۶	۲۵	۱۶	۳۸
مساحت اراضی مرتع دایمی (میلیون هکتار)	۷۹۳	۹۷۸	۴۷۸	۹۴	۲۷۴	۱۵۶	۴۳۹	۳۲۱۲
در صد تخریب شده	۳۱	۲۰	۱۴	۱۱	۱۱	۳۵	۱۹	۲۱
مساحت اراضی جنگلی و درختزار (میلیون هکتار)	۶۸۳	۱۲۷۳	۸۹۶	۶۶	۶۲۱	۳۵۳	۱۵۶	۴۰۴۸
درصد تخریب شده	۱۹	۲۷	۱۳	۳۸	۱	۲۶	۸	۱۸
مساحت کلی اراضی	۱۶۶۳	۲۷۸۷	۱۵۱۶	۱۹۸	۱۱۳۱	۷۹۶	۶۴۴	۸۷۳۵
درصد تخریب	۳۰	۲۷	۱۶	۳۲	۸	۲۷	۱۶	۲۳

۷-۲۰ چشم‌انداز آینده

سه عامل جهانی در تداوم کاهش کیفیت خاک در آینده مؤثر می‌باشند که عبارتند از: (۱)جمعیت و تقاضاهای ناشی از اقتصاد برای غذا و پوشاک، (۲)میزان ازبین‌بردن جنگل‌ها و مراتع و انجام کشت‌وکار در آن‌ها برای پاسخ به تقاضاها (۳)عزم جهانی برای توقف و حتی برعکس‌کردن تخریب زیست محیط در سرتاسر گیتی

تقاضا برای غذا و پوشاک

در ۲۵ سال آینده بیشتر از ۲/۵ میلیارد نفر به جمعیت انسانی جهان افزوده خواهد شد، که حدود ۹۰ درصد آن‌ها در کشورهای درحال‌رشد زندگی می‌کنند (شکل ۶-۲۰ را مشاهده کنید) بیشترین درصد افزایش در آفریقا بوده اما بزرگ‌ترین رقم مطلق افزایش در آسیا خواهد بود. این امر در جدول ۷-۲۰ منعکس شده است که تعداد کودکان دچار سوءتغذیه را در مناطق مختلف جهان نشان می‌دهد. افزایش جمعیت برای گسترش تقاضاهای جهانی برای خوراک و پوشاک تداوم خواهد داشت.

رشد اقتصادی در اکثر کشورهای درحال رشد همچنین سبب افزایش این تقاضا خواهد شد. گرچه اکثر مردم در این کشورها بسیار فقیرند، با این‌وجود، درآمد آن‌ها درحال افزایش است. با رشد اقتصاد و با مهاجرت مردم بیشتری از مناطق روستایی به شهر میزان مصرف غذای سرانه‌ی آن‌ها افزایش یافته و محصولات گوشتی و لبنی بیشتری در برنامه‌ی غذایی آن‌ها وارد خواهد شد. این دگرگونی نیازمند مصرف دانه‌های علوفه‌ای بیشتری برای انجام تغذیه انسان‌ها از محصولات دامی درمقایسه با مصرف مستقیم[1] این دانه‌ها به‌وسیله‌ی انسان‌ها می‌باشد. در سال ۲۰۱۰ حدود ۲۵درصد دانه مصرف‌شده در کشورهای درحال توسعه برای تعلیف احشام به‌کار می‌رود. در ربع‌قرن آتی حداقل ۱۰٪ افزایش تقاضا برای غذا ناشی از افزایش درآمد و تغییر برنامه‌ی غذایی، و بقیه ناشی از افزایش جمعیت است.

برای رفع این نیازها، باید غذای بیشتری در چهل سال آتی تولید شود چیزی حدود آن‌چه از آغاز کشاورزی تا حال تولید شده است. این نه‌تنها بر نقش خاک در تولید اثرگذار است، بلکه در نقش‌های مربوط به کیفیت محیط زیست، سلامت انسان، حیوان، و تنوع زیستی نیز مؤثر می‌باشد.

جدول ۷-۲۰ تعداد کودکان دچار سوءتغذیه تا سن ۶ سالگی در مناطق مختلف جهان در سال ۱۹۹۳، و درصد کودکان دچار سوءتغذیه در این مناطق. به تعداد زیاد در آسیا توجه کنید.

منطقه	کودکان دچار سوءتغذیه در سال ۱۹۹۳	
	تعداد (میلیون)	درصد
جنوب آسیا	۱۰۰	۵۷
آفریقای جنوب صحرا	۲۶	۳۰
چین و جنوب شرق آسیا	۴۳	۲۲
آمریکای لاتین	۹	۱۷
غرب آسیا و شمال آفریقا	۸	۱۵

توسعه‌ی اراضی زیر کشت

عرضه‌ی اکثر محصولات غذایی و پوشاکی جهان همچنان از کشاورزی پرنهاده در اراضی بسیار پرتولید جهان به‌دست می‌آید(جدول۸-۲۰). هرچند مقداری نیز از توسعه‌ی اراضی قابل کشت به‌خصوص در آمریکای جنوبی، حاصل می‌گردد که هنوز دارای اراضی وسیع با توان کشاورزی می‌باشند. برای مثال، منطقه‌ی سرادو[2] با خاک‌ها خیلی اسیدی آلومینیومی در برزیل مرکزی، احتمال برآوردن این انتظار را مطرح می‌کند. اصلاح اخیر ارقام پرمحصول گندم و سایر محصولات مقاوم درمقابل آلومینیوم امکان تولید این محصولات را در میلیون‌ها هکتار اراضی مسطح تا کم‌شیب، که تا حال برای کشت مورد استفاده نبوده‌اند، فراهم می‌سازد (جدول ۹-۲۰). با نظام‌های مناسب تناوب و مصرف متعادل کود شیمیایی، خاک‌های سرادو می‌توانند کاملا پرتولید باشند. اگر علف‌های گندمی و گیاهان پوششی در تناوب و نظام عملیات خاک‌ورزی مورد استفاده قرار گیرند، فرسایش مهار خواهد شد. البته اقداماتی باید معمول داشت که حداقل ۱۵ درصد اراضی را برای بوستان‌ها و گذرگاه‌های سرپوشیده برای حفاظت حیات‌وحش و حفظ تنوع زیستی کنار گذاشته شوند. اگر این اقدامات انجام گیرند این اراضی دارای توان تولید می‌توانند به‌خوبی برای کشاورزی با کمترین اثرات منفی بر کیفیت کلی خاک مورد استفاده قرار گیرند.

بدبختانه، فقر و فشار جمعیت احتمالاً سبب توسعه‌ی مستمر کشت‌وکار در کوهپایه‌های پراکنده در خاک‌های آسیب‌پذیر خواهد گشت، توسعه‌ای که از قبل معلوم است سبب ایجاد خسارت در کیفیت خاک می‌گردد. ما بعداً بعضی اقدامات را که می‌توان برای به‌حداقل‌رساندن تخریب در خاک‌های این مناطق معمول داشت تشریح خواهیم کرد.

---

[1]- تولید یک کیلوگرم گوشت جوجه،گوشت‌گاو، گوشت‌خوک به ترتیب نیازمند۵،۸،۳ کیلوگرم غله معادل است. گرچه ضایعات خانگی و مراتع نیز در تولید محصولات دامی مصرف می‌شوند، و کود دامی می‌تواند در کیفیت خاک به‌طور مثبت تأثیر داشته‌باشد، اما اثر کلی مصرف محصولات دامی به‌طور چشم‌گیری سبب افزایش تقاضا برای غذا و پوشاک خواهدبود

[2] -Cerrado

جدول ۸-۲۰ درصد تأثیر افزایش تولید ناشی از افزایش مساحت اراضی قابل کشت، تراکم کشت و عملکرد در هکتار در برخی از کشورهای درحال توسعه از ۸۴-۱۹۸۲ تا ۲۰۰۰

توجه کنید که برای آمریکای لاتین اکثر افزایش تولید مورد انتظار از افزایش عملکرد درهکتار می‌باشد.

منطقه	تأثیر در افزایش عملکرد		
	افزایش سطح زیر کشت	افزایش تراکم کشت	افزایش عملکرد در هکتار
آفریقای جنوب صحرا	۲۶	۱۷	۵۷
خاور نزدیک – شمال آفریقا	۵	۲۲	۷۷
آسیا (به استثنای چین)	۱۱	۲۰	۶۹
امریکای لاتین	۳۹	۱۲	۴۹

تقاضا برای کیفیت محیط زیست

سومین عامل جهانی که بر کیفیت خاک تأثیر می‌گذارد، تقاضای جامعه برای توقف تخریب محیط زیست است. دیگر قابل قبول نیست که با قطع یک‌سره جنگل برای تولید اراضی زراعی بیشتر اقدام نمود، و یا گذرگاه‌های آب را با رسوب حاصل از فرسایش و یا طغیان گیاهان آبزی حاصل از نیترات و فسفر حاصل از اراضی زراعی مسدود کرد. همین‌طور تخریب مداوم خاک‌های جهان دیگر قابل تحمل نیست.

جدول ۹-۲۰ تأثیر مدیریت خاک، محصول و عناصر غذایی در تولید محصولات زراعی، مرتع اصلاح شده و غرس درختان جنگلی در سرادو برزیل از ۱۹۷۰ تا ۱۹۹۰

استفاده متوسط ازآهک و کودهای شیمیایی و گیاهان مقاوم به آلومینیوم امکان این افزایش را فراهم نموده است.

عامل	۱۹۷۰	۱۹۸۰	۱۹۹۰
مساحت اراضی تحت محصولات کشت شده (میلیون هکتار)	٤/٦	۷/۲	۱۰/۵
متوسط عملکرد تن در هکتار	۱/۲	۱/۳	۱/۹
میزان تولید محصول (میلیون تن)	۵/٦	۹/٤	۲۰
مرتع اصلاح شده (میلیون هکتار)	-	۱۵/٦	۳۰
غرس درختان جنگلی (میلیون هکتار)	-	۱/۵	۳

موانع موجود در تأمین تقاضاهای غذا و مواد رشته‌ای

چالش تأمین نیازهای غذایی و رشته‌ای در آینده هولناک‌تر از تجارب دهه‌ی ۱۹٦۰ است. از دو نهاده اصلی که سبب تقویت رشد ارقام انقلاب سبز بود، یعنی آب آبیاری و کودهای شیمیایی، نمی‌توان انتظار داشت که سبب افزایش عملکرد خاص مشابه در آینده گردند. انتظار بر این است که نرخ افزایش اراضی تحت آبیاری در کشورهای درحال توسعه (که سالانه ۱/۷ درصد از سال ۱۹۸۲ تا سال ۱۹۹۳ بود) از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۰ فقط ۰/۷ درصد باشد. اراضی بسیار مناسب با هزینه‌ی اندک برای آبیاری قبلاً توسعه یافته‌اند.

همین‌طور مصرف جهانی کود شیمیایی که از سال ۱۹۵۰ تا سال ۱۹۸۹ ده برابر افزایش یافت. اکنون در حدی ثابت شده است (شکل٤-۲۰). در بسیاری از مناطق جهان، مصرف کود شیمیایی در سطح بهینه و یا در نزدیک آن می‌باشد[1]. برای مثال، در آسیای شرقی میزان مصرف کود شیمیایی درحال حاضر با آمریکا و اروپا رقابت می‌کند (شکل ۷-۲۰ را مشاهده کنید). در این نرخ بالای مصرف کود، برگشت سرمایه از مصرف بیشتر کودهای شیمیایی کاهش می‌یابد. درنتیجه، برگشت سرمایه حاصل از ۲۵ کیلوگرم نیتروژن اضافی در هکتار امروزه برای اکثر مزارع در آسیا بسیار کمتر از دهه‌ی ۱۹٦۰ و یا دهه‌ی ۱۹۷۰ خواهد بود.

[1] – توان قابل‌ملاحظه‌ای برای پاسخ به کودهای شیمیایی در بعضی کشورهای درحال توسعه، به‌خصوص آفریقا وجود دارد. راه‌های برآورد این نیازها در بخش ۱۰-۲۰ مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

به‌نظر می‌رسد که این موانع دلیل اصلی این واقعیت باشد که عملکرد سالانه‌ی گندم و برنج در دهه ۱۹۹۰ فقط حدود یک درصد افزایش داشته است، درحالی‌که در بین سال‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۸۰ افزایش سالانه دو برابر این نرخ بوده است. این موانع بر اهمیت چالش موجود در برابر کشاورزان برای پیداکردن راه‌های رفع تقاضاهای غذایی آینده در مقیاس جهانی تأکید دارد.

انگاره‌ای نو در تولید فراورده‌های گیاهی

چالشی دو گانه در پیش‌رو است: ارضای تقاضاهای بی‌شمار برای غذا و سلامت انسان و دام بدون زیان‌رساندن به کیفیت محیط زیست. برای تحقق این چالش انگاره‌ای نو در تولید غذا و رشته در مقیاس جهانی درحال آشکارشدن است. در گذشته فناوری و توجیه اقتصادی کوتاه‌مدت مبانی اصلی مشخص‌کننده‌ی نظام‌های تولید مواد غذایی بوده‌اند. درحالی‌که با ملاحظات اقتصادی هنوز باید توافق داشت، نگرش جدید این است که ما باید ملاحظات بیشتری بر مبنای بوم شناختی در نظام‌های تولید مواد غذایی خود قائل باشیم. این درک جدید با استفاده از دانش و فناوری به ما کمک می‌کند که فرا گیریم چگونه کشاورزی باید با بوم‌سامان‌های دیگر تعامل داشته باشد. این نگرش به ما کمک می‌کند که توجه خود را برروی نظام‌های تولید مواد غذایی معطوف داریم که هدررفت‌ها را به‌حداقل رسانده و نظارت بر منابع طبیعی را برای تولید مواد غذایی و پناه‌گاه طبیعی و یا سایر اهداف به حداکثر برسانند. این امر مطمئناً تغییرات مهمی را در روش‌های به‌کار گرفته ما برای تأمین غذا ایجاد خواهد کرد، تغییراتی که اثرات مهمی بر کیفیت خاک خواهند داشت، ما با تغییرات مورد نیاز در نظام‌های تجاری پرنهاده شروع خواهیم کرد.

۸-۲۰ نظام‌های کشاورزی پرنهاده تغییریافته

تولید مواد غذایی و رشته‌ای در اراضی مناسب همچنان به تمرکز خود، شاید حتی بیشتر از سابق ادامه خواهد داد. هر چند اگر قرار باشد کیفیت خاک نگهداری‌شده و یا ارتقاء یابد، ما باید روش‌های جدید و تغییر یافته مدیریت خاک و محصول را اعمال کنیم که سبب کاهش آلودگی خاک، آب و نیوار گشته و باعث کارایی استفاده از آب و کود، حفظ و یا افزایش کمیت و کیفیت مواد آلی، کاهش فرسایش خاک و افزایش تنوع زیستی می‌گردد. از آن‌جاکه مدیریت کود می‌تواند در تعدادی از این اهداف تأثیرگذار باشد، اول آن‌را مورد بحث قرار خواهیم داد.

مدیریت عناصر غذایی

به‌استثنای آفریقای جنوب صحرا و بعضی مناطق در آمریکای مرکزی و جنوبی، احتمالاً توسعه اندکی در محصولات غذایی از افزایش مصرف کود به‌دست خواهد آمد. در واقع، در بخش هایی از اروپا، ایالات متحده و آسیا که مقادیر مصرف کود درحال حاضر به‌مقدار زیادی بیشتر از میزان جذب نبات است، میزان مصرف کود احتمالاً باید کاهش یابد. در این مناطق، باید مفهوم تولید «بیشترین با کمترین نهاده‌ها» غالب باشد. مواد غذایی اضافی نه از کود بیشتر بلکه از بازده‌ی بیشتر استفاده از عناصر غذایی در خاک، چه از منابع آلی و چه از منابع معدنی به‌دست خواهد آمد. عناصر غذایی طبیعی و یا استعمال‌شده برای تولید عملکرد بالا باید به‌گونه‌ای کارا در بازچرخ قرار گرفته و هدررفت به محیط زیست باید به کمینه مقدار برسد.

ترکیب آلی و معدنی: تحقیق نشان داده است که ترکیب کودهای معدنی و پس‌مانده‌های آلی انواع محصولات زراعی در تناوب می‌تواند سبب حفظ، و یا حتی افزایش عملکرد با کاهش مقدار عناصر غذایی معدنی شود. این تا حدی مربوط به ارتقای چرخه عناصر غذایی و یا تأثیر پس‌مانده‌های گیاهی بر کیفیت ماده‌ی آلی خاک و زیتوده‌ی میکروبی می‌باشد. ظاهراً، در نظام‌های سنتی فقط با یک یا دو نبات در تناوب میزان بخش فعال ماده‌ی آلی خاک پایین است. در نظام‌های با تنوع بیشتر با چند محصول در تناوب، و با مقادیر کمتری کود شیمیایی میزان‌های بالاتری از بخش فعال ماده‌ی آلی در خاک یافت می‌شود. همچنین خاک در این نظام با تنوع محصولات دارای میزان نیتروژن زیتوده (بیانگر میزان میکروب بیشتر) بیشتر و سطوح بالاتر معدنی‌شدن نیتروژن می‌باشد. تعامل بین گیاهان کاشته شده، کیفیت ماده‌ی آلی خاک و تعداد میکروب‌ها و توانایی آن‌ها در آزادساختن نیتروژن و دیگر عناصر غذایی برای جذب نبات در جدول ۱۰-۲۰ تشریح شده است.

تناوب زراعی: تناوب زراعی دارای مزایای دیگری در مقایسه با نظام‌های تک‌کشتی معمول در کشاورزی پرنهاده می‌باشد. عملکرد دو محصول درصورت کشت آن‌ها به‌دنبال هم در یک مزرعه و یا کشت مخلوط آن‌ها در همان مزرعه بالاتر می‌باشد. اگر گیاهان نیامدار در تناوب قرار گیرند، آن‌ها نیتروژن اضافی را برای نظام فراهم می‌کنند. گیاهان علوفه‌ای سبب تقویت تولید دامی پایدار بر مبنای عدم تمرکز گردیده، و

استفاده از کود دامی را برای عرضه عناصر غذایی و ماده‌ی آلی تضمین می‌کنند. گیاهان متراکم در تناوب به کنترل فرسایش کمک نموده و با کمک پس‌مانده‌های گیاهی سبب افزایش چشم‌گیر ظرفیت نفوذ آب در خاک می‌شوند. اگر نظام شامل گیاهان پوششی زمستانه باشد، عناصر غذایی باقی‌مانده‌ی آخر فصل از زراعت‌های اصلی می‌توانند ذخیره شده و از آلودگی آب جلوگیری می‌گردد. مطالعات نظام‌های کشت‌وکار به روشنی مشخص کرده‌اند تناوب‌هایی که شامل کشت‌های متراکم از جمله نیامداران می‌باشند. می‌توانند سبب کیفیت خوب خاک گردند.

جدول ۱۰-۲۰ اثر عملیات حفاظتی بر عوامل کیفیت خاک در ارتباط با ماده‌ی آلی

در هر منطقه خاک از ۷ جفت مزرعه‌ی مجاور مورد تجزیه قرار گرفت در یکی از عملیات حفاظتی (عملیات خاک‌ورزی کاهش یافته، تنوع محصول بیشتر، گیاهان چمنی بیشتر در تناوب و / یا استفاده از منابع آلی) استفاده شد، درحالی‌که عملیات سنتی (عملیات شخم بیشتر، تنوع محصول کمتر...) در دیگری مورد استفاده قرار گرفت. توجه کنید که اثر برروی کربن آلی کل خاک درمقایسه با اثر بر روی بخش فعال ماده‌ی آلی خاک و خصوصیات آن کمتر چشم‌گیر بود.

خصوصیات	خاک‌های دشت‌های ساحلی		خاک‌های دشت دامنه‌ای	
	مدیریت حفاظتی	مدیریت سنتی	مدیریت حفاظتی	مدیریت سنتی
کربن آلی کل g/kg	۱۰	۹	۱۹	۱۵
بخش فعال کربن آلی mg/kg [1]	۱۲۱	۷۵	۱۳٤	۱۱۲
کربن زیتوده میکروبی، ٪ کل کربن	۲/۵	۱/۷	٤/۰	۳/٤
عدد ثابت میزان معدنی‌شدن[2] نیتروژن	٤/٤	۳/۵	٤/٦	۳/٤
پایداری خاکدانه‌ها، درصد	۷۲	۵٦	۷۳	٦٦

۱) پس از تخریب خاک به‌وسیله‌ی طول‌موج‌های ریز فقط قند قابل عصاره‌گیری بود

۲) ثابت نرخ k از معادله $N_P=N_0e^{-kt}$

در نظام‌های کشت‌وکار تمایل درحال افزایش کاربرد منابع آلی و سنگ‌های طبیعی حاوی عناصر غذایی به‌تنهایی و استفاده از راه‌های غیرشیمیایی مبارزه با آفات می‌باشد. این نظام‌های کشت آلی از عناصر غذایی موجود در منابعی مانند کود دامی، پس‌مانده‌های گیاهی (به‌خصوص خانواده‌ی بقولات(نیامداران)) و سنگ‌های طبیعی استفاده می‌برند. اگرچه میزان عملکرد در هکتار ۵ تا ۱۵ درصد کمتر از نظام‌های پرنهاده‌ی کشت‌وکار است. هزینه‌های نهاده‌ی کم و قیمت‌های تشویقی دریافت‌شده برای غذاهای تولیدشده از منابع آلی می‌تواند سبب سودهی بیشتری شود. کیفیت خاک معمولاً به‌طور مثبت تحت تأثیر قرار گرفته و آبشویی عناصر و فرسایش نیز به کمینه مقدار می‌رسد. هرچند متأسفانه میزان اراضی، که احتمالاً به کشت‌وکار آلی اختصاص می‌یابد، به‌دلیل محدودیت وجود منابع مناسب آلی حاوی عناصر غذایی، و همچنین به‌علت کاهش احتمالی قیمت‌های تشویقی درصورت توسعه‌ی تولید، اندک می‌باشد.

مدیریت آب

کمبود آب احتمالاً سبب محدودیت توانایی ما در تأمین نیازهای غذایی آتی خواهد شد. کارایی بیشتر با استفاده از هر دو منبع بارش و آب آبیاری باید حاصل شود. تناوب کشت متنوع، که شامل نباتات متراکم همراه با عملیات خاک‌ورزی حفاظتی می‌باشد می‌تواند با ایجاد پوشش بیشتری برروی خاک سبب افزایش میزان نفوذ و کاهش رواناب و فرسایش شود. این مهم می‌تواند سبب بهبود کارایی آب برای تولید محصول گردد. به‌همین شکل نظام‌های مدیریت آبیاری مانند آبیاری قطره‌ای، که سبب کاهش میزان آب مورد نیاز برای تولید محصول می‌شود باید به‌طور گسترده مورد استفاده قرار گیرد. نظام‌های پیشرفته زه‌کشی که در مناطق تحت آبیاری ایفای نقش می‌کنند، باید از تراکم نمک‌ها ممانعت کرده و بنابراین، سبب حفظ کیفیت خاک شوند.

تنوع زیستی

نظام‌های پرنهاده که دارای تنوع محصولات در تناوب می‌باشد به‌خصوص اگر نیامداران و غیرنیامداران را شامل باشند مطمئناً سبب افـزایش تنوع زیستی در خاک خواهند شد، نه‌تنها تعداد ریزجانداران افزایش یافته، بلکه تنوع غذایی آلی برای آن‌ها سبب تقویت تنـوع بیشـتری شـده و کیفیت خاک نهایتاً بهره‌مند خواهد گردید.

۹-۲۰ بهبود نظام‌های کشاورزی با عملکرد پایین

اعمال مدیریت برتر در نظام‌های دارای عملکرد پایین، به‌خصوص در مناطق حاره‌ای برای زندگی بهتر صدها میلیون مردم فقیر در کشورهای درحال توسعه در سرتاسر جهان اساسی است. در بعضی مناطق، مانند اکثر آفریقای جنوب صحرا مسأله‌ای اصلی نبود عناصر غذایی است. به‌علت برداشت این عناصر در محصولات مختلف، و آبشویی زیاد این عناصر از تمام منابع آن‌ها، خاک‌ها از این عناصر تخلیه شده‌اند. برآورد می‌شود در طول ۳۰ سال گذشته به‌طور متوسط ٦٦۰، ۷۵ و ٤٥۰ کیلوگرم به ترتیب نیتروژن، فسفر و پتاس در هر هکتار در سطح ۲۰۰ میلیون هکتار اراضـی زراعی آفریقای جنوب صحرا برداشت شده است.

موانع خاکی دلیل اصلی توان تولید کم در بسیاری از مناطق دیگر حاره‌ای است (جدول ۱۱-۲۰). کیفیت خاک سالانه درحال کاهش است و این امر درصورت پیدانشدن راه‌هایی برای افزایش عناصر غذایی تداوم خواهد یافت. نظام‌های کشت‌وکار که سبب چرخـه‌ی عناصـر غـذایی و حفاظت خاک درمقابل فرسایش می‌شوند بخش مهمی از راه‌حل می‌باشند. اما در دیگر مناطق مقادیر قابل‌توجهی از عناصر غذایی خارجی اضافی مورد نیاز خواهد بود.

جدول ۱۱ – ۲۰ درصد مساحت ۵ منطقه‌ی بوم‌شناخت کشاورزی حاره‌ای که خاک دارای موانعی شیمیایی برای رشد محصول است

مانع خاک	٪ منطقه گرمسیر مرطوب	٪ منطقه ساوانای اسیدی	٪ منطقه گرمسیر نیمه‌خشک	٪ منطقه گرمسیر پرشیب	٪ منطقه گرمسیر باتلاقی	٪ جمع
سمیت Al	٥٦	٥۰	۱۳	۲۹	٤	۳۲
اسیدیته بدون سمیت Al	۱۸	٥۰	۲۹	۱٦	۲۹	۲٥
تثبیت بالای p به‌وسیله‌ی اکسیدهای Fe	۳۷	۳۲	۹	۲۰	۰	۲۲
CEC پایین	۱۱	٤	٦	--	--	٥
شوری	۱	۰	۲	۰	۷	۱

برای تشریح چگونگی افزایش تولید محصولات و دست‌یابی به ارتقای کیفیت خاک در مناطق با تولید فعلـی پـایین مـا توجـه خـود را بـه موقعیت آفریقای جنوب صحرا معطوف خواهیم داشت. منطقه‌ای که در آن کیفیت خاک در حال افول بوده و تنها منطقه‌ی عمده‌ای از جهان است که در آن تولید غذای سرانه در ۲٥ سال گذشته کاهش یافته است. هرچند، اصول موجود می‌تواند در نظام‌های کشاورزی بـا عملکـرد پـایین در بسیاری از مناطق دیگر گرمسیری نیز به‌کار برده شود.

۱۰-۲۰ بهبود کیفیت خاک در آفریقای جنوب صحرا[1]

ارزیابی کیفیت خاک برای مقاصد کشاورزی در آفریقا مطرح می‌کند که حدود ٥٥ ٪ اراضی در سطح قاره برای هر نوع کشاورزی به‌استثنای چرای عشایری، نامناسب است (جدول ۱۲-۲۰). ۳۰ درصد جمعیت کشور زندگی محقرانه‌ای خود را از این مناطق به‌دست می‌آورند. خاک‌هـایی

[1] – مطالعات متعددی در مورد عوامل موثر در تولید غذا در آفریقا و تأثیر روش‌های تولید در کیفیت خاک به عمل آمده است از جمله آن‌ها (Eswaran etal, (۱۹۹۷ b و Bresh & sanchez1997 می‌باشند.

با کیفیت پایین در ۱۶ درصد اراضی، که ۲۳ درصد جمعیت در آن زیست می‌کنند قرار دارند این خاک‌ها با محدودیت هایی مانند اسیدیته شدید، لایه‌های غیرقابل نفوذ و تجمع نمک‌ها مواجه می‌باشند.

خوشبختانه خاک‌ها با کیفیت متوسط تا بالا در ۲۹ درصد اراضی که ٤٧ درصد جمعیت در آن‌ها زندگی می‌کنند، وجود دارند. این خاک‌ها از عوامل محدودکننده اصلی عاری بوده و در مناطقی یافت می‌شوند که بارندگی حداقل برای یک محصول در سال پایدار و کافی است. این خاک‌ها، اگر نظام‌های پرنهاده پایدار در آن‌ها به‌کار گرفته شود، برای تولید مواد غذایی و رشته‌ای دارای پتانسیل بالایی می‌باشند.

کمبود عناصر غذایی

مطالعات ورودی و خروجی عناصر غذایی از اراضی زراعی آفریقای جنوب صحرا نشان‌دهنده یک تعادل منفی خطرناک می‌باشد که بیانگر کاهش کیفیت خاک است. عناصر غذایی بیشتر از آن‌چه به خاک افزوده شوند از خاک برداشته می‌شوند. تعادل N.P.K برای ۱۳ کشور (که همگی منفی می‌باشند) در جدول ۱۳-۲۰ نشان داده است. روی‌هم‌رفته در سال ۲۰۰۰ کشورهای آفریقایی صحرا[1] هرسال از اراضی زراعی خود ٦/١ میلیون تن نیتروژن، ٧٤/٠ میلیون‌تُن فسفر، و ٤/٦ میلیون‌تُن پتاس (جدول۱۳-۲۰ را مشاهده کنید) را از دست می‌دهند. درحالی که عملکرد پایین سبب کاهش نسبی میزان عناصر غذایی خواهد شد. مصرف خیلی کم کودهای شیمیایی، معمولاً کمتر از ۱۰ کیلوگرم در هکتار نمی‌تواند به سادگی سبب جایگزینی عناصر خارج شده گردد.

جدول ۱۲-۲۰ درصد اراضی آفریقا که به‌وسیله‌ی کلاس‌های مختلف کیفیت خاک مشخص شده، و درصد مردم قاره که در آن زندگی می‌کنند. توجه کنید ۳۰درصد مردم در ۵۵درصد اراضی قرار گرفته‌اند که کیفیت خاک نامناسب قلمداد شده است، هرچند ۴۷درصد مردم در ۲۹درصد اراضی (حدود ۹۰۰ میلیون هکتار) زندگی می‌کنند که کیفیت خاک متوسط و به بالا قلمداد شده است.

کیفیت خاک	درصد آفریقا	
	مساحت اراضی	جمعیت مردم
بالا	۱۶	۳۱
متوسط	۱۳	۱۶
پایین	۱۶	۲۳
نامناسب	۵۵	۳۰

جدول ۱۳-۲۰ تعادل متوسط N،P وK بر حسب کیلوگرم در هکتار در سال در اراضی زراعی در چند کشور آفریقایی در سال ۲۰۰۰. چنین تعادل منفی (نهاده منهای ستانده) بیانگر تخریب واقعی خاک‌های آفریقاست، که برای پایداری کیفیت کل حیات در این قاره به‌ناچار باید متوقف گردد.

کشورها		کامرون	اتیوپی	غنا	کنیا	مالاوی	نیجریه	رواندا	سنگال	تانزانیا	زیمبابوه	متوسط
تعادل	نیتروژن	-۲۱	-۴۷	-۳۵	-۴۶	-۶۷	-۳۷	-۶۰	-۱۶	-۳۲	-۲۷	-۳۹
سال	فسفر	-۲	-۷	-۴	-۱	-۱۰	-۴	-۱۱	-۲	-۵	-۲	-۵
kg/ha	پتاسیم	-۱۳	-۳۲	-۲۰	-۳۶	-۴۸	-۳۱	-۶۱	-۱۴	-۲۱	-۲۶	-۳۰

کودهای شیمیایی، منبع آشکار جبران تخلیه‌ی عناصر غذایی در خاک می‌باشند. بدبختانه، کارخانه‌های کود شیمیایی محلی اندک بوده، و به‌خاطر فاصله زیادی که کودهای شیمیایی صادراتی باید حمل گردند، قیمت آن‌ها دو برابر قیمت جهانی است. این سبب عدم رغبت در مصرف عناصر غذایی، به‌خصوص در مناطق دورافتاده که در آن‌جا کشاورزی جای‌گردان وجود دارد شده است. معادن سنگ فسفات محلی، که بسیاری از آن‌ها در مناطق آفریقای جنوب صحرا وجود دارند، عمدتاً توسعه نیافته است، زیرا فسفر موجود در این مواد به آهستگی برای اکثر نباتات

[1] - از آن‌جاکه اکثر کشاورزی کشور آفریقای جنوبی از نظام‌های پرنهاده کشاورزی استفاده می‌کند، این کشور از آفریقای زیر صحرا (SSA) حذف شده است.

قابل‌استفاده می‌باشد. نوآوری در ترکیب منابع معدنی و آلی عناصر غذایی برای افزایش نهاده‌های غذایی، و چرخه‌ی عناصر پس از ورود به خاک باید مورد استفاده قرار گیرد.

مدیریت عناصر غذایی

نظام‌های جنگل- زراعی، که گونه‌های درختی سریع‌الرشد تثبیت‌کننده‌ی نیتروژن را در تلفیق با نظام‌های کشت‌وکار سنتی قرار می‌دهد، در عرضه‌ی هرچه بیشتر عناصر غذایی و ارتقاء چرخه‌ی آن‌ها در نظام خاک-نبات، همزمان با افزایش توان تولید نبات و کیفیت خاک امیدوارکننده بوده است. ما قبلاً (بخش ۸-۱۳ را مشاهده کنید) درباره توانایی درختان ریشه عمیق سریع‌الرشد برای بازچرخ نیترات‌ها که تا عمق چندین متر در خاک‌های مناطق حاره آبشویی یافته‌است، صحبت نمودیم. نیتروژن چنین بازیافت‌شده (اغلب به‌مقدار ۱۰۰ کیلوگرم درهکتار) وقتی پس‌مانده‌های گیاهی درسطح خاک توزیع و تجزیه گردند، می‌تواند به‌وسیله‌ی کشت‌های محصولات خوراکی مصرف شود. این نیتروژن بازیافت‌شده یک نهاده واقعی در نظام‌های تولید مواد غذایی است زیرا درغیراین‌صورت نیتروژن در داخل زهاب‌ها از دست خواهد رفت.

رشد درختان سریع‌الرشد تثبیت‌کننده‌ی نیتروژن در طول فصل آیش، بعد از برداشت محصولات غذایی منبع دیگر نیتروژن برای نظام تولید در مناطق نیمه‌مرطوب است (جدول ۱۴-۲۰و شکل ۱۰-۲۰). میزان تثبیت نیتروژن معادل میزان تثبیت آن در گیاهان علوفه‌ای نیامدار در آمریکا می‌باشد. وقتی بقایای چوبی نیامداران به خاک اضافه شده و تجزیه گردند، مقداری نیتروژن برای جذب گیاه آزاد می‌شود. بخشی از نیتروژن در اشکال فعال‌تر ماده‌ی آلی و زیتوده‌ی میکروبی وارد گردیده و برای استفاده‌ی بعدی نبات قابل استفاده خواهد بود. تثبیت زیستی یک منبع قابل‌توجه نیتروژن به‌حساب آمده، و باید به‌طور کامل مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۱۴-۲۰ عملکرد ذرت در یک مزرعه در کنیا به‌دنبال یک ویا دو سال آیش که در آن گونه‌های مختلفی کاشته شده بودند. توجه کنید که عملکردهای بالا از کرت‌هایی به‌دست آمد که در آن *Sesbenia*، یک درخت تثبیت‌کننده‌ی نیتروژن کشت شده بود. در طول ۵ سال، ۲ سال آیش *Sesbena* و سه سال ذرت، مقدار تولید دانه‌ی ذرت با توجه به نیروی کارگری کمتر درمقایسه با دو نظام مورد استفاده جدید (آیش علف گندمی و ذرت کود نخورده) بیشتر بود. چنین نظام‌های جنگل- زراعی در بخش‌های مختلف قاره آفریقا بسیارنویدبخش می‌باشند.

تیمار	عملکرد دانه ذرت تن در هکتار
دو سال *Sesbena sesban*	۵/۴
ذرت با مصرف کود	۴/۰
یک سال *Sesbena sesban*	۳/۴
تناوب بادام زمینی – ذرت	۱/۹
آیش علف گندمی	۱/۸
ذرت بدون مصرف کود	۱/۱

ترکیب مواد آلی/ معدنی

به‌نظر می‌رسد ترکیب بقایای آلی و کودهای شیمیایی دارای اثرات هم‌افزایی[1] باشند، افزایش عملکرد در این ترکیب بیشتر از عملکرد تک‌تک آن‌هاست (شکل ۱۱-۲۰). دانشمندان و زارعین در تمام بخش‌های جهان دریافته‌اند که با ترکیب این مواد آلی به‌عنوان پس‌مانده‌های محصول، کف‌پوش جنگل- زراعی ، فضولات دامی و کمپوست با مقادیر اندک کودهای شیمیایی می‌توان عملکرد را افزایش داده و همزمان با آن کیفیت خاک را حفظ کرده و یا ارتقاء دهند. درحالی که سازوکار دخیل در افزایش عملکرد هنوز به‌خوبی مشخص نشده است، به‌نظر می‌رسد که اثرات هم‌افزایی مواد آلی و مواد معدنی در ارتباط با تأمین آب، فعالیت ریزجانداران و ترشحات ریشه‌ای[2] باشد (بخش‌های۷-۱۱و۳-۱۲) رامشاهده کنید.

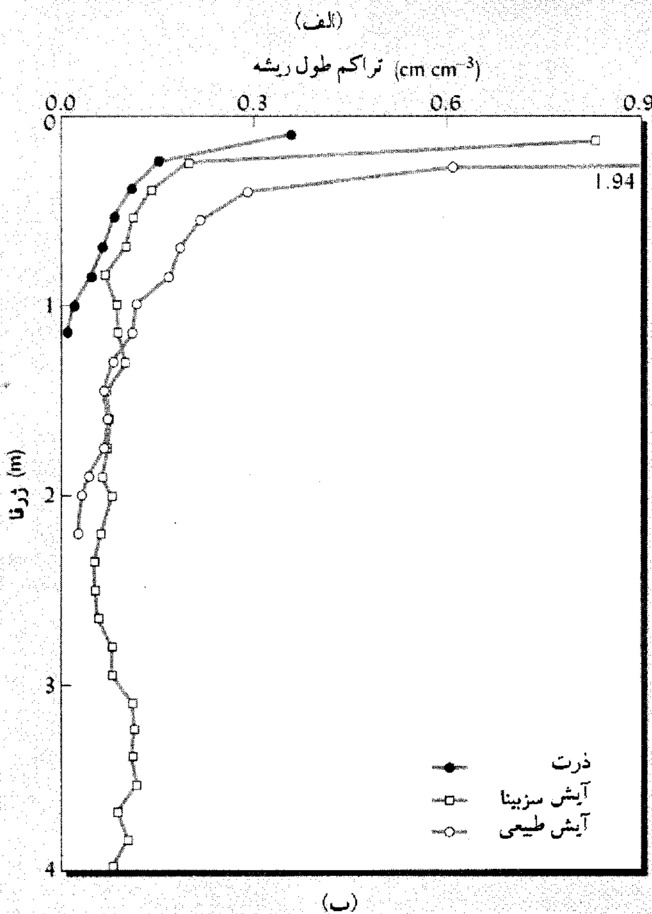
[1] -Synergistic
[2] -Rhizodeposition

تحقیق در مزارع زارعین روشن ساخته که جبران فسفر خاک در خاک‌های آفریقا عمدتاً از منابع معدنی تأمین، و به‌وسیله‌ی منابع زیستی تکمیل می‌شود. برعکس جبران نیتروژن احتمالاً عمدتاً از منابع زیستی بوده و با منابع معدنی تکمیل می‌شود.

ما به جنبه‌های مدیریت کود با تلفیق نهاده‌های آلی و معدنی برای ارتقای توان تولید محصول تأکید کرده‌ایم. هرچند باید باز هم تأکید کرد که این نظام تلفیقی دارای اثرات سودمند مشابهی بر سایر عوامل کیفیت خاک از جمله استفاده از آب، مهار فرسایش خاک، و تنوع زیستی و خلاصه، در ارتقای کیفیت خاک خواهد داشت.

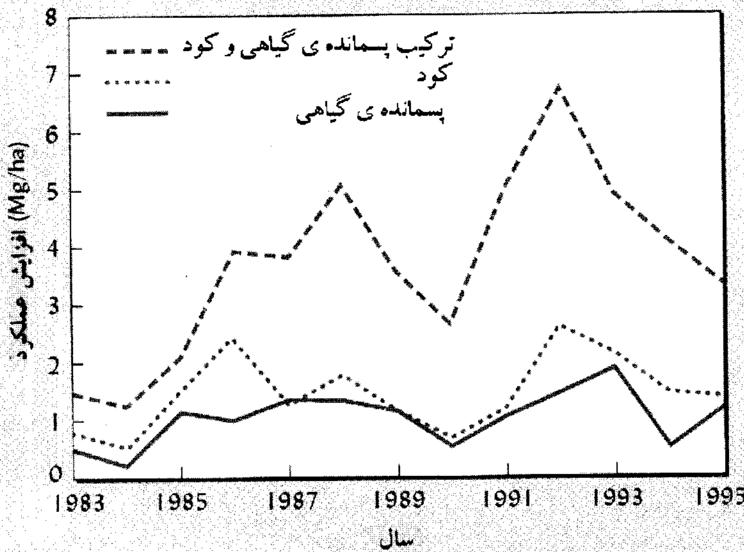


(الف)



(ب)

شکل ۱۰-۲۰ دانشمندان و زارعین به اثرات مفید و قابل‌توجه قراردادن درختان سریع‌الرشد تثبیت‌کننده‌ی نیتروژن در تناوب با گیاهان خوراکی در آفریقا پی برده‌اند. (بالا) رشد خیلی زیاد یک چنین درخت نیامدار *sasbena sesban* در یک مزرعه در زامبیا نشان داده شده است. نظام ریشه‌ی خیلی عمیق این درخت (پایین) سبب تقویت باز چرخ سایر عناصر غذایی، از جمله نیتروژن می‌شود. عملکرد قابل توجه ذرت به‌دنبال *sasbena* در جدول ۱۴-۲۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۲۰ افزایش عملکرد ارزن مرواریدی با استعمال جداگانه و توأم پس‌مانده‌های گیاهی و کودهای شیمیایی طی ۱۳ سال کشت‌وکار در آفریقای غربی. میزان عملکرد در مزارعی که هر دو منبع کودی را با هم دریافت داشته بودند معمولاً از مجموعه‌ی عملکرد در مزارعی که هر دو کود را جداگانه دریافت داشته بودند بیشتر بود. اثرات سودمند مصرف توام مواد آلی و معدنی در شکل به خوبی به نمایش گذاشته شده است

نظام‌های جنگل- زراعی به‌عنوان جایگزین قطع و سوزاندن

بعضی از نظام‌های جنگل- زراعی وجود دارند که می‌توانند جایگزین‌های خوبی برای روش‌های مخرب قطع و سوزاندن باشند که امروزه در افریقا و سایر مناطق در گرمسیر مورد استفاده می‌باشد، دو نوع از نظام‌ها را به‌طور مختصر مورد تشریح قرار می‌دهیم.

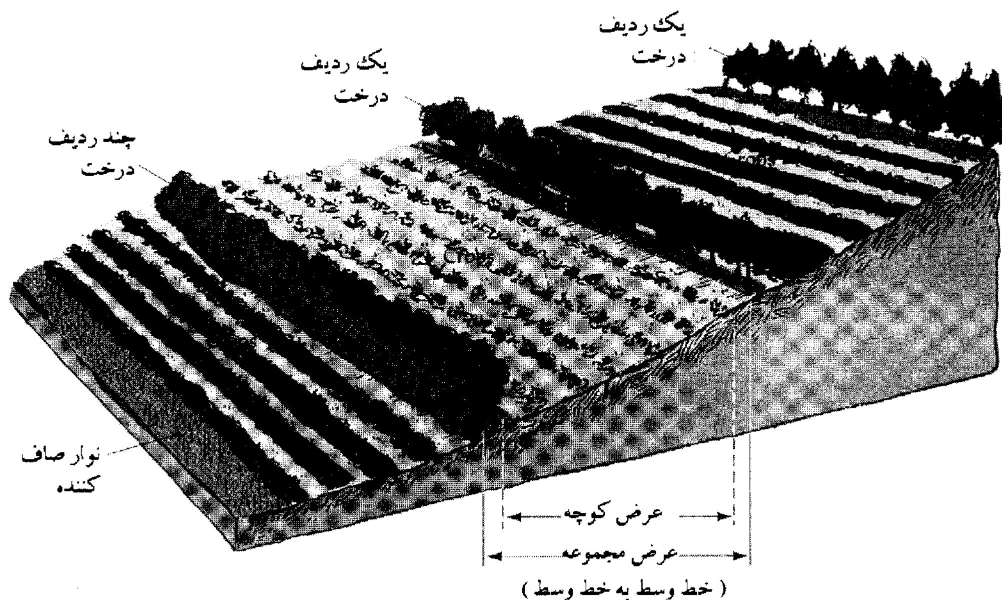
مخلوط محصولات درختی[1]: در این نظام درختان اهلی در داخل گونه‌های درختی بومی کشت شده تا زمانی که گونه‌های غرس‌شده غالب می‌شوند. چهره‌ی اصلی نظام این است که خاک هیچ‌وقت از پوشش خالی نخواهد بود. با توجه به تجارب موجود در نظام‌های سنتی، بعضی از دانشمندان تکثیر درختانی را که تولید محصولات باارزش (میوه‌ها، محصولات آجیلی و داروهای گیاهی) که برای تولیدکننده درآمد بیشتری ایجاد کند، توصیه می‌کنند. باغچه‌های خانگی کاندی[2] در سیلان و جنگل‌های تلوم[3] در شمال‌شرق مکزیک نمونه‌های دلگرم‌کننده از نظام‌های موفق توسعه‌یافته به‌وسیله‌ی مردم بومی می‌باشند. با آن که نظام مخلوط درختی نیازمند اطلاعات جامع از گونه‌های تحت مدیریت است، این نظام سبب تولید درآمد بسنده در ضمن تضمین کیفیت خاک می‌گردد.

کشت کوچه‌ای[4]: نظام جنگل- زراعی که کشت کوچه‌ای نامیده می‌شود شامل کشت محصولات غذایی در کوچه‌هایی می‌باشد که مرزهای آن‌ها به‌وسیله‌ی درختان و یا بوته‌های دارای رشد سریع و اغلب ازخانواده نیامداران تشکیل می‌شود. این چپرها برای جلوگیری از سایه‌اندازی بر روی محصولات غذایی به‌طور مرتب هرس گشته و مواد هرس‌شده به‌عنوان خاک‌پوش در مبارزه با گیاهان هرز، جلوگیری از فرسایش و رواناب کمک کرده و سبب کاهش تبخیر از سطح خاک می‌گردند. شکل ۱۲-۲۰ نشان می‌دهد که نظام چگونه کار می‌کند.

در بعضی مناطق ثابت شده است که کشت کوچه‌ای موفق می‌باشد (جدول۱۵-۲۰). عملکرد محصولات بدون نیاز به باقی‌ماندن اراضی به‌صورت آیش برای سال‌ها حفظ می‌شود. خاک از فرسایش بیشتر حفظ گشته و کیفیت خاک بهبود می‌یابد (جدول۱۲-۱٦). اما در اراضی کاملاً غیرحاصلخیز در سایر مناطق نیمه‌مرطوب تا نیمه‌خشک گونه‌های درختی چپر برای رطوبت و عناصر غذایی با گیاهان غذایی رقابت کرده و در عملکرد تأثیر می‌گذارند. شکل ۱۳-۲۰ مشخص می‌سازد که چگونه رقابت، مؤثربودن کشت کوچه‌ای را در بعضی مناطق خشک‌تر با حاصلخیزی کمتر تحت تأثیر می‌گذارد. بنابراین، ممکن‌است کشت کوچه‌ای در بعضی مناطق مفید بوده اما یک جایگزین مناسب برای نظام قطع و سوزاندن در دیگر مناطق نباشد.

---

1 -Mixed tree crop
2 -Kandy home gardens
3 -Telum
4 -Alley cropping



شکل ۱۲-۲۰ کشت کوچه‌ای در عرض شیب که در آن کوچه‌ها را که انواع مختلف محصولات در بین ردیف‌ها (تنها و یا چندتایی) تولید می‌شوند، نشان می‌دهد. ردیف‌ها از بوته‌ها و یا درختان سریع‌الرشد، و ترجیحاً از انواع تثبیت‌کننده‌ی نیتروژن می‌باشند. بعد از برداشت نبات کشت شده، سرشاخه درختان می‌توانند چیده شده، هرس گردیده و پوشش هرس‌شده برروی منطقه تحت کشت پخش گردد، این سبب تولید ماده‌ی آلی، عناصر غذایی و ممانعت از فرسایش خاک در نبات بعدی می‌گردد. این نظام در بعضی مناطق، که بارندگی هم برای گیاهان کشت شده و هم درختان حاشیه کافی باشد، و در جایی که نیروی کار لازم برای بریدن و پخش سرشاخه‌های بریده شده کافی باشد، امیدوارکننده است.

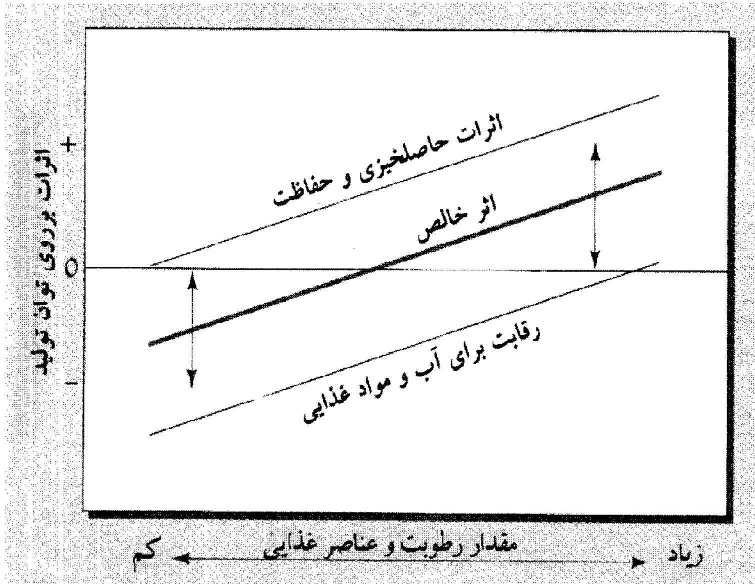
همکاری در بین محققین و کشاورزان، روش‌های موردی اختصاصی را برای بهبود مدیریت نظام‌های کم‌نهاده در آفریقا و دیگر جاها در سراسر جهان آشکار می‌سازد. درحالی که این پیشرفت‌ها در جزییات با هم متفاوتند، تلفیق مناسب نهاده‌ی مواد آلی و معدنی از اجزای اکثر آن‌ها می‌باشد. این امر در اکثر نظام‌های تولید نیز صادق است. نهاده‌های متغیر ماده‌ی آلی که با کودهای غیرشیمیایی مناسب تکمیل گردند، مبنای اساسی را برای افزایش توان تولید و بهبود کیفیت خاک فراهم می‌سازند.

جدول ۱۵-۲۰ عملکرد ذرت طی ٦ سال در آزمایش‌های کشت کوچه‌ای با استفاده از *Leucaena leucocephala* به عنوان چپر در یک خاک *Psammentic Ustorthent* در نیجریه

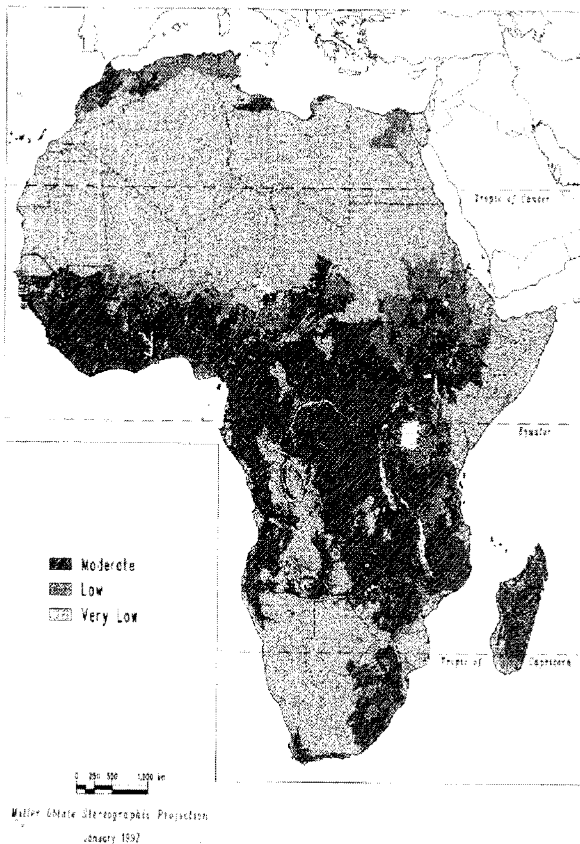
میزان مصرف kg/ha (*)	هرس *Leucaena*	عملکرد ذرت (تن در هکتار)						
		۱۹۷۹	۱۹۸۰	۱۹۸۱	۱۹۸۲	۱۹۸۳	۱۹۸٤	۱۹۸٦
۰	خارج گردید	–	۱/۰٤	۰/٤۸	۰/٦۱	۰/۲٦	۰/٦۹	۰/٦٦
۰	به‌عنوان خاک‌پوش مصرف شد	۲/۱۵	۱/۹۱	۱/۲۱	۲/۱	۱/۹۲	۱/۹۹	۲/۱۰
۸۰	به‌عنوان خاک‌پوش مصرف شد	۳/٤	۳/۲٦	۱/۸۹	۲/۹۱	۳/۱٦	۳/٦۷	۳

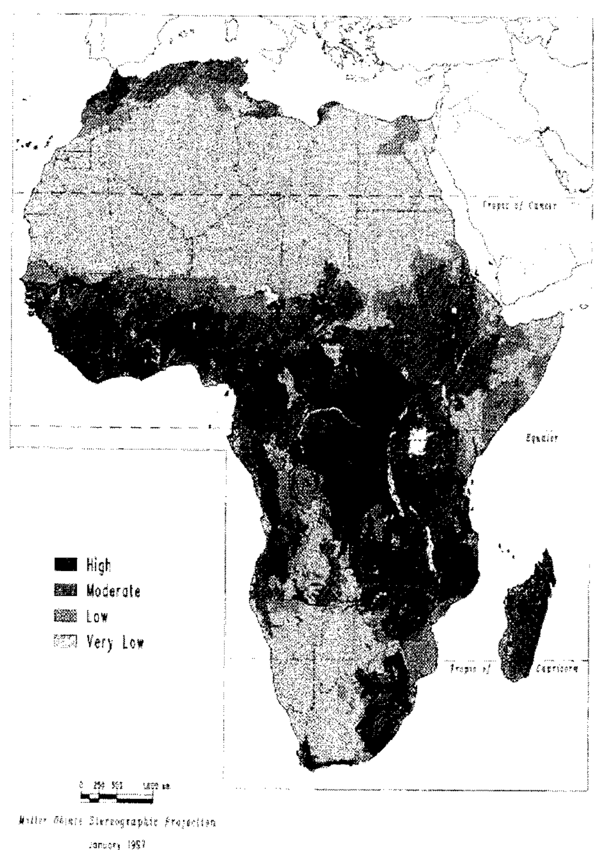
*تمام کرت‌ها Zn, Mg, K, P دریافت داشته‌اند، محصول در خشکسالی ۱۹۸۳ تحت تأثیر قرار گرفت. در سال ۱۹۸۵ زمین آیش بود

ترکیب نهاده‌های آلی و معدنی دارای توان بالایی برای بهبود کیفیت خاک‌ها در افریقا می‌باشد. شکل ۱٤-۲۰ تشریح کننده توان بسیار پایین اکثر خاک‌های آفریقاست که امروزه مورد استفاده می‌باشند. این شکل، همچنین بیانگر کارمایه بسیار ارتقاء یافته درصورت استفاده مؤثر از ترکیب مناسب مواد آلی و معدنی می‌باشد. مزایای هم‌افزایی حاصل از مصرف توأم این مواد همچنین سبب ارتقای کیفیت خاک‌ها، چه در آفریقا، آسیا، آمریکای لاتین، آمریکای شمالی و یا هر جای دیگر در روی کره‌ی زمین نیز می‌شود.



شکل ۱۳-۲۰ مزایا و موانع در تولید نباتات در نظام‌های کشت کوچه‌ای. خط فوقانی بیانگر اثرات مفید حاصل از چرخه‌ی عناصر و حفاظت خاک است. خط پایین‌تر بیانگر اثرات منفی حاصل از رقابت ردیف‌های درختان حاشیه برای آب و عناصر غذایی است. خط ضخیم مرکزی نشان‌دهنده خالص اثرات می‌باشد، که معمولاً در مناطق مرطوب‌تر با خاک‌هایی دارای میزان عناصر در حد متوسط مثبت است. در مناطق خشک‌تر، و با حاصلخیزی کمتر، رقابت برای آب و عناصر غذایی اغلب سبب کاهش خالص عملکرد نبات می‌شود.





شکل ۱۴-۲۰ پتانسیل استفاده‌ی پایدار کشاورزی از منابع خاک آفریقا با نهاده‌های بسیار اندک مورد استفاده امروزی (سمت چپ). درمقایسه با پتانسیل مشابه درصورت به‌کارگیری نهاده‌های زیاد (سمت راست). توجه کنید که مناطق وسیعی از صحرا، شاخ آفریقا، و جنوب‌غرب آفریقا عمدتاً به‌علت کمبود آب به‌رغم میزان نهاده‌های شیمیایی، دارای پتانسیل بسیارپایین است. به‌علاوه با میزان نهاده‌های پایین جاری، پایداری کشاورزی دربقیه‌ی مناطق آفریقا پایین و یا حتی بسیار پایین می‌باشد. برعکس، اگر ترکیب معقولی از نهاده‌های آلی و معدنی به‌کار روند، مناطق وسیعی دارای پتانسیل متوسط و یا بالا برای کشاورزی پایدار خواهند بود.

۱۱-۲۰ بهبود کیفیت خاک در آسیا و آمریکای لاتین

قبلاً کاهش کیفیت خاک را در آمریکا، اروپا و شرق آسیا ناشی از تمرکز عملیات کشاورزی و مصرف ضایعات حاصل از صنعت مناطق شهری و کشاورزی مورد تأکید قرار دادیم، همچنین تذکر می‌دهیم که اراضی پرشیب در هر جای جهان در معرض یغمای فرسایش خاک و رسوب‌گذاری همرا آن در اراضی پایین‌دست رودخانه‌ها می‌باشند. عملیات کاربری اراضی، که سبب ایجاد پوشش خاک چه به‌صورت جنگل‌های طبیعی و علف‌زارها و یا به‌صورت پس‌مانده‌های حاصل از محصولات برداشت‌شده می‌باشد، باید در بالای فهرست معیارهای نظام پایدار کاربری اراضی قرار گیرند. در بقیه مناطق جهان بعضی مسایل منطقه‌ای وجود دارد که باید مورد اشاره قرار گیرند.

جدول۱۶-۲۰تأثیر عملیات حفاظتی و کشت کوچه‌ای بااستفاده از دو نیامدار چوبی به‌عنوان چپر برروی رواناب و فرسایش خاک در نیجریه

	نظام تولید	رواناب، درصد بارندگی		فرسایش خاک (تن در هکتار)	
		ذرت	گاودانه	ذرت	گاودانه
بدون چپر	شخم با عملیات خاک‌ورزی	۱۷	۴/۳	۴/۳	۰/۶۳
	بدون عملیات خاک‌ورزی	۱/۳	۰/۸	۰/۱	۰/۰۳
با چپر	*Leucaena*	۴/۹	۱/۱	۰/۶	۰/۱۳
	Gliricidia	۴/۳	۰/۷	۰/۶	۰/۰۷

جنوب و جنوب شرقی آسیا

دستاوردهای قابل توجه در تولید محصولات غذایی سه دهه قبل در آسیا بیانگر آن نیست که کاهش کیفیت خاک مسأله‌ی مهمی در این منطقه باشد. متأسفانه، این کاهش صورت گرفته است، اما به علت اثرات مثبت استفاده بیشتر از کودهای شیمیایی و آب آبیاری، پنهان مانده است. عملیات متمرکز کشاورزی همراه با سوزاندن پسمانده‌های گیاهی اثرات منفی بر مقدار میزان ماده‌ی آلی خاک داشته است. در جنوب آسیا پسمانده‌های گیاهی و همین‌طور کودهای دامی به‌صورت سوخت برای مصارف خانگی مصرف شده و یا بقایا به‌وسیله‌ی حیوانات مصرف می‌گردند. در جنوب شرق آسیا برای خلاص‌شدن از مزاحمت کاه برنج و گندم که در محل خرمن‌کوبی جمع‌آوری شده‌اند، سوزانده می‌شوند، درهرحال زمین درفاصله کشت عمدتاً فاقد پوشش باقی مانده، بنابراین، سبب فراخواندن فرسایش، کاهش در میزان ماده‌ی آلی، و تخریب ساختمان پایدار خاک می‌شود. بیرون‌زدگی سنگ نیز در اراضی حاصلخیز و پرتولید قبلی اثرات شوم تخریب خاک در بعضی مناطق می‌باشد. اگر قرار است جمعیت فوق‌العاده افزایش‌یافته آتی در این مناطق تغذیه شوند، نباید اجازه داد که این تخریب‌ها ادامه داشته باشند.

تحقیق نشان داده است که تولید زیستی و کیفیت خاک می‌تواند با تلفیق نهاده‌های ماده‌ی آلی و معدنی در داخل خاک بهبود یابد، هرچند اقداماتی باید انجام داد تا تضمین شود زارعین برای تکمیل کودهای شیمیایی، که قادر به خرید آن می‌باشند، دارای منابع آلی هستند. در بعضی مناطق درخت‌زارهای عمومی هیزم لازم را برای پخت‌وپز فراهم کرده و امکان می‌دهند که پس‌مانده‌های گیاهی در روی زمین باقی بمانند. در دیگر مناطق، کود سبز سبب تأمین ماده‌ی آلی مورد نیاز می‌باشند.

آمریکای جنوبی و مرکزی

ممکن‌است کاهش کیفیت خاک در این مناطق در آینده در اثر پرنهاده بودن کشاورزی و شدت فرایند فرسایش خاک همچنان تداوم یابد. در مناطق دارای پتانسیل تولید مانند منطقه سرادو برزیل، چالش عمده اجتناب از اشتباهات انجام گرفته در قبل به‌وسیله‌ی زارعین در آمریکای شمالی و اروپا می‌باشد. چمن‌زارهای بومی به احتمال زیاد زیر کشت آورده خواهند شد اما باید احتیاط لازم به‌عمل آید که تنها کودهای شیمیایی استعمال نشود، بلکه از تلفیق کودهای آلی و معدنی استفاده گردد. به‌همین ترتیب از تک‌کشتی باید احتراز جست و از تناوب محصولات باید حداکثر استفاده را به عمل آورد.

باید تا حد امکان از پاک‌کردن اراضی جنگلی برای اهداف کشاورزی نه‌تنها درحوزه‌ی آمازون بلکه در اکثر مناطق دیگر آمریکای جنوبی و مرکزی احتراز جست. میزان فرسایش در آمریکای مرکزی جزو بیشترین مقادیر در مقیاس جهانی است. اگر کیفیت خاک باید حفظ شود و یا بهبود یابد تغییر خالص کاربری اراضی دراکثر مناطق باید به سمت افزایش اراضی جنگلی نه فزونی بیشتر اراضی کشاورزی باشد. استفاده عاقلانه

از تلفیق موادآلی و معدنی و همین‌طور توسعه تحت نظام‌های جنگل- زراعی باید سبب افزایش تولیدات مواد غذایی در کشت‌زارهای سابق گردد. حفظ اراضی تپه‌ماهور، و اراضی غیرحاصلخیز به‌صورت جنگل، سبب ایجاد بوم‌سامان‌های پایدار، و درنتیجه حفظ بهبود کیفیت خاک می‌گردد.

۱۲-۲۰ نتیجه‌گیری نهایی

دانشمندان به اتفاق سایر همکاران در دیگر تخصص‌ها، مفهوم کیفیت خاک و یا سلامت خاک را برای کمک به کمّی‌کردن عوامل مؤثر و توانایی خاک برای ایفای نقش‌های متعدد ابداع نموده‌اند. مقیاس‌های اصلی این مؤثربودن عبارتند از ارتقای توان تولید زیستی، کیفیت محیط زیست، سلامت انسان و دام و تنوع زیستی است. فشارهای جمعیت انسانی سبب تأکید بیشتر بر ایفای نقش خاک در ارتقای توان تولید زیستی است. اما اگر قرار است کیفیت خاک افزایش یابد، باید همزمان به ۳ هدف دیگر نیز دست یابیم.

زارعین جهان در نیم‌قرن گذشته تقریباً معجزه کرده‌اند آن‌ها تولید غذا را در مقادیر بالاتر از هر زمان دیگر از تاریخ افزایش داده‌اند، بیشتر از آن‌چه با افزایش غیرقابل انتظار تعداد جمعیت انسانی تناسب داشته باشد. این افزایش مواد غذایی از پرنهاده‌کردن کشاورزی در اراضی زراعی موجود حاصل شده است. درحالی که کیفیت خاک به‌وسیله‌ی بعضی از این نظام‌های پرنهاده بهبود یافته است، در سایر نظام‌ها سبب تخریب خاک، آب و منابع نیوار شده است.

چالش عمده در مقابل بشر تولید مواد غذایی و رشته‌ای بیشتر در ٤٠ تا ٥٠ سال آتی است، بیشتر از هر آن‌چه است که از آغاز کشاورزی از ۱۰۰۰۰ سال قبل تا حال تولید شده است. انگاره‌ی جدیدی برای تحقق این کار بدون تخریب محیط زیست، به‌خطرافتادن سلامت انسان و دام‌ها و یا کاهش تنوع زیستی لازم می‌باشد. این انگاره نگرشی بوم‌سامانی را برای نظام‌های کشت‌وکار در نظر دارد که بر تعامل توان تولید گیاهان با میزان تولید و وضعیت بهتر تمام موجودات زنده و کیفیت محیط زیست تأکید می‌کند. کیفیت خاک از این تعامل سود برده و به‌نوبه‌ی‌خود سبب موفقیت آن‌ها خواهد شد.

سووالات برای مطالعه

۱- کیفیت خاک و یا سلامت خاک چیست؟ چگونه اندازه‌گیری می‌شود و برای تمام جاندارانی که بر روی آن یا در داخل آن زندگی می‌کنند چه اهمیتی دارد؟

۲ – چرا کیفیت خاک امروزه بیشتر مورد توجه جامعه است تا ۱۰۰ سال قبل؟

۳ – چرا جنبه‌ی توان تولید زیستی کیفیت خاک موردتوجه بیشتر انسان‌ها در مقایسه با جنبه هایی که با محیط و سلامت انسان و حیوان سروکار دارند، می‌باشد؟ آیا این اولویت تغییر می‌کند؟ چرا ؟

٤ – چه نهاده‌های فناوری علت اصلی افزایش قابل توجه محصولات غذایی و رشته‌ای در سه دهه‌ی قبل در کشورهای در حال توسعه‌ی آسیا و آمریکای لاتین می‌باشد ؟ آیا احتمال دارد که این نهاده‌ها در افزایش تولید غذا و پوشاک در ۳۰ سال آینده معنی‌دار باشند؟ چرا و چرا نه ؟

٥ – اثرات مثبت و منفی عملیات پرنهاده کشاورزی در نیم‌قرن گذشته چه بوده‌اند؟

٦ – چگونه نگرش متحول بوم‌سامان در تولید محصول با کشت باصرفه کوتاه‌مدت که در گذشته وجود داشت متفاوت است؟ کدام نگرش دارای اثرات مثبت‌تری بر کیفیت و یا سلامت خاک می‌باشد و چرا ؟

۷ – بعضی از تغییرات لازم در مدیریت عناصر غذایی در نظام‌های تولید پرنهاده، که برای بهبود توان تولید خاک و پایداری کشاورزی و ارتقای کیفیت خاک لازم است چه می‌باشند؟

۸ – آفریقا تنها منطقه‌ی عمده در جهان است که در آن تولید سرانه‌ی غذا در سه دهه‌ی گذشته کاهش یافته است. دلایل این وضعیت چیست، چه اقدامات عمده‌ای برای تغییر آن باید معمول داشت؟

۹ – کشاورزی جای‌گردان چیست؟ چگونه استفاده از آن در بسیاری از مناطق سبب کاهش کیفیت خاک شده است، چند جایگزین مناسب آن‌ها کدام‌ها می‌باشند؟

۱۰ – در کدام مناطق جهان کاهش کیفیت خاک بسیار شدید است ؟

فهرست معانی واژه‌های خاک شناسی

A horizon - افق A : افق سطحی یک خاک معدنی که دارای بیشترین تراکم ماده‌ی آلی، فعالیت زیستی و/ یا آبشویی موادی مانند هیدراکسیدهای آهن و آلومینیوم و رس‌های سیلیکاتی باشد.

abiotic - غیرزنده: عناصر اصلی غیرزنده محیط مانند بارندگی، دما، باد، و کانی‌ها می‌باشد.

absorption , active - جذب فعال: حرکت یون‌ها و آب به‌داخل ریشه‌ی گیاهان براثر فرایندهای سوخت‌وساز ریشه، که اغلب در مقابل یک شیب فعالیت انجام می‌شود.

absorption , passive - جذب غیرفعال: حرکت یون‌ها و آب به‌داخل ریشه‌ی گیاهان درنتیجه انتشار در شیب غلظت می‌باشد.

Acceleraled erosion - فرسایش شتابی: erosion را مشاهده کنید.

acid rain - باران‌های اسیدی: بارش‌های جوی با مقادیر pH کمتر از ۵/۶، اسیدیته به دلیل انتشار اکسیدهای نیتروژن و گوگرد به‌داخل جو و تشکیل اسیدهای معدنی مانند اسید نیتریک و اسید سولفوریک می‌باشد.

acid soil - خاک اسیدی: خاکی که با pH کمتر از ۷، معمولاً در مورد لایه سطحی و یا منطقه ریشه کاربرد دارد، اما ممکن است برای مشخص‌کردن هر افق نیز به‌کار رود. واژه‌های soil , reaction را نیز مشاهده کنید.

acid sulfate soil - خاک‌های اسید سولفات: خاک‌هایی که دارای توان شدید اسیدی (pH < ۳/۵) به دلیل مقادیر زیاد اشکال احیاشده گوگرد می‌باشند که درصورت مواجه‌شدن با اکسیژن هنگام زه‌کشی و یا حفاری اکسید شده و به اسید سولفوریک تبدیل می‌شوند. یک افق سولفوریک که دارای کانی‌های زرد رنگ جاروسیت $K_2 Fe_6 (SO_4)_4 (OH)_{12}$ می‌باشد معمولاً در این خاک‌ها وجود دارد. Cat clays را نیز مشاهده کنید.

acidty , active - اسیدیته فعال: فعالیت یون هیدروژن در فاز محلول خاک که به‌صورت pH اندازه‌گیری و بیان می‌شود.

acidity , residual - اسیدیته باقی‌مانده: اسیدیته خاک که بتوان آن را با آهک و یا سایر مواد قلیایی خنثی کرد. اما نمی‌تواند به‌وسیله‌ی یک محلول نمک غیربافر جایگزین گردد.

acidity , salt replaceable - اسیدیته قابل تبادل: هیدروژن و آلومینیوم قابل تبادل از یک خاک اسیدی به‌وسیله‌ی یک محلول نمک غیربافر مانند KCl و یا NaCl

acidity , total - اسیدیته کل: اسیدیته کل یک خاک. که به‌طور تقریب شامل مجموع اسیدیته قابل تبادل به‌وسیله‌ی نمک و اسیدیته باقی‌مانده می‌باشد

actinomycetes اکتینومیست: گروهی از موجودات زنده در حد فاصل باکتری‌ها و قارچ‌های واقعی که ریسه‌های منشعب خاص ایجاد می‌کنند. شامل بسیاری از موجودات زنده متعلق به رده Actinomycetales می‌باشند.

activated sludge - لجن فعال‌شده: لجن فاضلاب که در معرض هوا و فعالیت میکروبی قرار گرفته است.

active layer — لایه‌ی فعال: لایه‌ی فوقانی یک خاک Gelisol که در معرض یخ‌زدن و ذوب یخ قرار دارد و در زیر آن یخ‌بندان دایم وجود دارد.

active organic matter - ماده‌ی آلی فعال: بخشی از ماده‌ی آلی که به آسانی مورد سوخت‌وساز میکروبی قرار گرفته و دارای نصف عمری در حدود چند روز یا چند سال در چرخه‌ی داخل خاک می‌باشد.

adhesion –دگرچسبی(چسبندگی): نیروی جاذبه‌ی مولکولی که باعث ارتباط سطوح دو ماده (برای نمونه آب و ذرات شن) می‌شود.

adsorption - جذب سطحی: جذب یون‌ها و یا مولکول‌ها به سطح یک ماده‌ی جامد. کلوییدهای خاک مقدار زیادی یون و آب جذب می‌کنند

adsorption complex - همتافت جذب: گروهی از مواد آلی و معدنی که دارای قابلیت جذب یون‌ها و مولکول‌ها می‌باشند.

aerate - مملو از گازها، معمولاً هوا

aeration , soil – تهویه‌ی خاک: فرایندی که در آن هوای خاک با هوای نیوار جایگزین می‌شود. در خاک‌های دارای تهویه خوب ترکیب هوای خاک مشابه جو بالای خاک است خاک‌های دارای تهویه‌ی ناقص معمولاً دارای گازکربنیک بیشتر و درنتیجه اکسیژن کمتری از جو بالای خود می‌باشند.

aerobic - هوازی: ۱- دربرداشتن اکسیژن مولکولی به‌عنوان بخشی از محیط. ۲- رشد و نمو تنها در حضور اکسیژن مولکولی، مانند یک موجود هوازی ۳- وقوع فقط در حضور اکسیژن مولکولی (فرایندهای مخصوص شیمیایی و یا زیست‌شیمیایی، مانند تجزیه هوازی)

aerosolic dust – گردوغبار معلق در هوا: نوعی از مواد بادرفت که بسیار ریز بوده (۱ تا ۱۰ میکرون) و ممکن است به‌صورت تعلیق در هوا در طول هزاران کیلومتر انتقال، به‌صورت معلق باقی بمانند. از اکثر Loess ها ریزتر می‌باشند.

aggregate (soil) – خاکدانه (خاک): تعداد زیادی از ذرات خاک که در یک توده و یا خوشه مانند کلوخه، قطعه اسفنجی، مکعب و یا منشوری قرار گرفته‌اند.

agric horizon – افق زراعی: به diagnostic subsurface horizons مراجعه کنید.

agronomy زراعت: یک مبحث تخصصی از کشاورزی که در ارتباط با نظریه و عمل تولید گیاهان زراعی و مدیریت خاک است. به مدیریت علمی اراضی نیز اطلاق می‌شود.

air-dry – هوا خشک: ۱- وضعیت خشکی (خاک) در تعادل با میزان رطوبت جو اطراف. میزان رطوبت واقعی در ارتباط با میزان رطوبت نسبی و دمای جو اطراف می‌باشد. ۲- امکان رسیدن به تعادل با میزان رطوبت جو اطراف

air porosity تخلخل تهویه ای: بخشی از حجم کل خاک که به‌وسیله‌ی هوا در هر زمان و یا شرایط مانند پتانسیل رطوبت خاص اشغال می‌شود، معمولاً شامل حجم منافذ درشت خاک است.

albic horizon – افق البیک: به diagnostic subsurface horizons مراجعه کنید

Alfisols – رده‌ی الفی‌سول: به soil classification مراجعه کنید.

algal bloom طغیان جلبک: انفجار جمعیت جلبک‌ها در آب‌های سطحی مانند دریاچه‌ها و رودخانه‌ها که اغلب سبب گل آلودگی و رنگ سبز و قرمز در آب می‌شود، که معمولاً ناشی از غنی‌شدن آب در اثر عناصر غذایی فسفر و نیتروژن می‌باشد.

alkali soil – (واژه‌ی منسوخ) خاک‌های قلیا: خاک‌هایی دارای مقادیر کافی قلیا (سدیم) که در رشد اکثر گیاهان زراعی رکود ایجاد می‌کند. به واژه‌های sodic soil , saline – sodic soil مراجعه کنید.

alkaline soil – خاک‌های قلیایی: خاکی که دارای pH بیشتر از هفت بوده و معمولاً در لایه سطحی و یا منطقه ریشه استعمال می‌شود اما ممکن‌است برای مشخص‌کردن یک افق و یا نمونه خاک نیز مصرف شود. واژه reaction , soil را مشاهده کنید.

allelochemical – دگرآزاری شیمیایی: یک ماده‌ی آلی شیمیایی که به‌وسیله‌ی آن گیاهی می‌تواند بر گیاه دیگر تأثیر بگذارد. allelopathy را مشاهده کنید.

allelopathy – دگرآزاری، برهم‌کنش: فرایندی که به‌وسیله‌ی آن گیاهی از طریق مواد شیمیایی فعال زیستی رهاشده در خاک چه از طریق ترشحات منظم و یا از طریق پس‌مانده‌های گیاهی در گیاه دیگر مؤثر باشد. گرچه اثرات اغلب منفی هستند اما می‌توانند مثبت هم باشد.

allophane – آلوفان: یک کانی سیلیکات آلومینیوم نامشخص که چهارچوب ساختمانی آن از مجموعه ضعیف بلورهای سه‌بُعدی که با مواد غیربلوری پُر شده‌اند تشکیل گردیده است. با همراه خیلی هوازده خود در مواد خاکسترهای آتشفشانی به وفور وجود دارند.

alluvial fan – آبرُفت بادبزنی: رسوبات بادبزنی شکل که در دهانه‌ی یک درّه و یا خندق بزرگ هنگام پخش آب‌های حاوی رسوبات و جای‌گذاری مواد ایجاد می‌شود.

alluvial soil – (واژه‌ی منسوخ) خاک‌های آبرفتی: خاکی که از مواد آبرفتی تازه‌ترسیب‌شده ایجاد می‌شود و اساساً هیچ نوع تشکیل افق و یا تغییراتی را در این مواد تازه‌رسوب‌یافته به نمایش نمی‌گذارند.

alluvium – آبرفت : واژه‌ی عمومی برای مواد فرسایشی که به‌وسیله‌ی رود ترسیب یافته و یا در انتقال می‌باشند، این مواد شامل سنگ‌ریزه، شن، لای، رس و مخلوط‌های متفاوتی از آن‌ها می‌باشند. این مواد تحکیم نیافته‌اند. مگراین‌که از قبل بیان گردد.

alpha particle – ذرات α : ذرات دارای بار مثبت(شامل دو پروتون و دو نوترون) که به‌وسیله‌ی ترکیبات خاص دارای مواد پرتوزا انتشار می‌یابند.

aluminosilicates – سیلیکات‌های آلومینیومی: ترکیباتی که دارای آلومینیوم، سیلیس و اکسیژن به‌عنوان اجزای اصلی می‌باشند. مانند میکروکلین $KAlSi_3O_8$

amendment , soil – مواد اصلاح‌کننده‌ی خاک: هر ماده‌ای غیراز کودها مانند آهک، گوگرد، گچ و خاک اره که برای تغییر خصوصیات شیمیایی و یا فیزیکی خاک‌ها و معمولاً برای ایجاد توان تولید بیشتر در آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

amino acids – اسید امینه‌ها: اسیدهای آلی حاوی نیتروژن که برای ایجاد پروتیین در هم ادغام می‌شوند. هر مولکول اسید شامل یک و یا چند گروه امین ($-NH_2$) و حداقل یک گروه کربوکسیل ($-COOH$) است. به‌علاوه بعضی اسید امینه‌ها دارای گوگرد می‌باشند.

ammonification – آمونیاکی‌شدن: فرایند زیست شیمی که در آن نیتروژن آمونیاکی از ترکیبات حاوی نیتروژن ایجاد می‌شود

ammonium fixation – تثبیت آمونیوم: محبوس‌شدن یون‌های آمونیوم به‌وسیله‌ی بخش‌های آلی و معدنی خاک در اشکالی که در آب محلول نبوده و حداقل در بعضی مواقع غیرقابل‌تبادل نیز می‌باشند.

amorphus material – مواد بی‌شکل: بخش غیربلوری خاک‌ها.

anaerobic – غیرهوازی: ۱- بدون اکسیژن مولکولی. ۲- زندگی و یا ایفای نقش در غیاب هوا و یا اکسیژن آزاد.

andic properties – خصوصیات اندیک: خصوصیات خاک که مربوط به منشاء مواد آذرین است، که شامل میزان کربن آلی زیاد، وزن مخصوص ظاهری کم، نگهداری فسفات زیاد و آهن و آلومینیوم قابل‌عصاره‌گیری می‌باشد.

Andisols – رده‌ی اندی‌سول: به soil classification مراجعه کنید.

angle of repose – زاویه‌ی قرار: بیشینه تندی شیب که در آن مواد سست، غیرچسبنده استقرار یافته‌اند.

anion – آنیون: یون دارای بار منفی که در اثنای الکترولیز به آند دارای بار مثبت جذب می‌شود.

anion exchange – تبادل آنیونی: تبادل آنیون‌های موجود در خاک با آنیون‌های جذب شده بر روی سطوح ذرات رس و هموس می‌باشد.

anion exchange capacity – ظرفیت تبادل آنیونی: جمع کل آنیون‌هایی که یک خاک می‌تواند جذب کند. بر حسب سانتی‌مول بار در کیلوگرم (cmolc/kg) خاک (و یا دیگر سطوح جذب کننده مانند رس) بیان می‌شود

anoxic - غیرهوازی: واژه‌ی anerobic را مشاهده کنید.

anthropic epipedon – افق سطحی انسانی: به diagnostic surface horizons مراجعه کنید.

antibiotic – آنتی بیوتیک: ماده‌ای‌که به‌وسیله‌ی یک گونه جاندار تولید می‌شود، در غلظت‌های کم سبب کشته‌شدن و یا توقف رشد جانداران به‌خصوص دیگر می‌شود.

Ap – افق شخم: افق سطحی یک خاک که به‌وسیله‌ی کشت‌وکار و یا مرتع‌داری دستخوش تغییر قرار می‌گیرد

apatite — آپاتیت : ترکیبی از فسفات کلسیم که در طبیعت یافت شده و منبع اولیه‌ی اکثر کودهای شیمیایی فسفردار می‌باشد، فرمول‌های چون $[Ca_3(PO_4)_2].CaF_2$ بیانگر ترکیبات تشکیل دهنده آپاتیت می‌باشد.

aquic conditions – شرایط اشباع: اشباع دایم و یا موقت (با آب) و احیا، که معمولاً به‌وسیله‌ی چهره‌های احیایی در خاک مشخص می‌شوند.

aquiclude – یک لایه سنگ و یا خاک اشباع که در شرایط معمول فشاری نمی‌تواند مقدار قابل‌توجهی آب را انتقال دهد

aquifer – آبخوان: یک لایه سنگ و یا خاک اشباع نفوذپذیر که می‌تواند مقادیر قابل‌توجهی آب را در فشار معمول انتقال دهد

arbuscule – اربسکول: یک ساختار خاص انشعابی که در داخل یک یاخته سطحی ریشه به‌وسیله‌ی قارچ- ریشه‌های داخلی ایجاد می‌شود

argillan — لایه‌ی رسی: یک پوشش نازک بر روی خاکدانه‌ها، ذرات و یا منافذ خاک به‌وسیله‌ی لایه‌ی نازک رسی

argillic horizon – افق ارجلیک: به diagnostic subsurface horizons مراجعه شود.

arid climate – اقلیم خشک: اقلیم مناطقی که فاقد رطوبت کافی برای تولید محصولات بدون آبیاری می‌باشند. در مناطق سرد بارندگی معمولاً کمتر از ۲۵ سانتی‌متر است. در مناطق گرمسیر این رقم ممکن است به ۵۰ سانتی‌متر برسد. پوشش طبیعی آن‌ها بوته‌های بیابانی است.

aridisols- اریدی‌سول: به soil classification مراجعه کنید.

aspect (of slopes) — جبهه‌ی شیب: جهت (برای مثال جنوب یا شمال) یک شیب که با آفتاب مواجه می‌شود.

association , soil خاک مجموعه: به soil association مراجعه کنید.

Atterberg limits – حدود اتربرگ: میزان آب در خاک‌های بافت ریز در مراحل مختلف پایداری خاک.

(PL) plastic limit – حد شکل‌پذیری: میزان آب در ارتباط باحد فرضی بین حالت شکل‌پذیری و حالت نیمه‌جامد.

(LL) liquid limit – حد روانی : میزان آب در ارتباط با حد فرضی بین حالت روانی و شکل‌پذیری.

autochthonous organisms – جانداران بومی: ریز جاندارانی که به‌نظر می‌رسد بر روی مواد آلی مقاوم زندگی کرده و کمتر تحت تأثیر مواد آلی تازه افزوده شده به خاک قرار می‌گیرند. متضاد جانداران zymogenous می‌باشند.

autotroph – خودپرور: جانداری که قادر است از گازکربنیک و یا کربنات‌ها به‌عنوان تنها منبع کربن استفاده کرده و انرژی خود را برای انجام فرایندهای حیاتی از اکسایش عناصر معدنی و یا ترکیباتی مانند آهن، گوگرد، هیدروژن، آلومینیوم و یا از انرژی تابشی به‌دست می‌آورند. متضاد آن heterotroph می‌باشد.

available nutrient – عناصر غذایی قابل استفاده: آن بخش از عناصر و یا ترکیبات غذایی در خاک که بتواند به‌طور آسان به‌وسیله‌ی گیاهان جذب و هضم گردد. واژه‌ی «available» نباید با واژه‌ی «exchangeable» اشتباه شود.

available water – آب قابل استفاده: بخشی از آب خاک که بتواند به آسانی به‌وسیله‌ی ریشه‌های گیاه جذب شود. مقدار آب آزادشده بین FC و PWP می‌باشد.

B horizon – افق B: افقی از خاک که معمولاً در زیر افق A قرار گرفته و به‌وسیله‌ی یک یا چند خاصه‌ی زیر مشخص می‌شود: ۱- تراکم رس‌های سیلیکاتی، اکسیدهای آهن و آلومینیوم و هموس به‌تنهایی، یا با هم، ۲- ساختمان مکعبی و یا منشوری؛ و ۳- پوشش اکسیدهای آهن و آلومینیوم که سبب ایجاد رنگ تیره‌تر، قوی‌تر و یا قرمزتر می‌شود.

bar – بار: واحد فشار معادل یک میلیون دین در سانتی‌متر مربع (10^6 باری). این واحد به‌طور تقریبی معادل فشار جو است.

base forming cations – کاتیون‌های بازساز: کاتیون‌هایی که سبب ایجاد بازهای قوی (بازهایی که به شدت تفکیک می‌گردند) در واکنش با هیدراکسیل می‌شوند؛ برای مثال، K^+ ایجاد هیدراکسید پتاسیم می‌کند (KOH)

base saturation percentage – درصد اشباع بازی: میزان اشباع همتافت جذبی خاک با کاتیون‌های قابل تبادل به غیراز هیدروژن، و آلومینیوم. به صورت درصدی از کل تبادل کاتیونی بیان می‌شود

BC soil – خاک BC : پروفیلی از خاک با افق‌های C , B اما بدون افق A. و یا با افق ضعیف A اکثر خاک‌هایی BC افق A خود را در اثر فرسایش از دست داده‌اند.

bedding – (واژه‌ی مهندسی) **پشته‌سازی**: تنظیم سطح مزارع به‌وسیله‌ی شخم و تسطیح به مجموعه‌ای از پشته‌های مرتفع که به‌وسیله‌ی گودی‌های کم‌عمق و یا نهرهایی به‌منظور زه‌کشی سطحی از همدیگر جدا می‌شوند.

bed rock – سنگ بستر: سنگ صلب که در زیر خاک‌ها و رگولیت با عمق صفر (به‌وسیله‌ی فرسایش اشکار شده) تا چندین متر قرار گرفته است.

bench terrace – تراس سکویی: یک پشته که در عرض مزارع شیب‌دار با ایجاد یک افت شدید ارتفاع در پایین‌دست شیب ایجاد می‌شود.

beta particle – ذرات β: الکترون سریع انتشار یافته در اثر تجزیه‌ی مواد پرتوزا.

bioaccumulation تراکم زیستی: تجمع ترکیبات خاص در جانداران خاص به علت فرایندهای زیستی. معمولاً در مورد فلزات سنگین، آفت‌کش‌ها و یا مواد سوخت‌وساز کاربرد دارد.

biodegradable قابل تخریب زیستی: در معرض تخریب به‌وسیله‌ی فرایندهای زیست شیمی.

biomass – زیتوده: جرم کل موجودات زنده از یک نوع خاص (برای مثال زیتوده‌ی میکروبی) در یک محیط مورد نظر مثلاً در یک مترمکعب خاک.

biopores – منافذ زیستی: منافذ خاک که معمولاً بزرگ بوده و به‌وسیله‌ی ریشه‌ی نباتات، کرم‌های خاکی و یا سایر جانداران خاک ایجاد می‌شوند.

bioremediation – پالایش زیستی: رفع آلودگی و یا مرمت خاک‌های آلوده و تخریب شده به‌وسیله‌ی ارتقای تجزیه و تخریب زیستی و یا سایر فعالیت‌های ریزجانداران خاک.

biosequence – توالی زیستی: گروهی از خاک‌های مورد نظر که اساساً براثر اختلافاتی از نظر انواع و تعداد گیاهان و موجودات زنده خاک به‌عنوان عوامل خاک‌سازی با همدیگر متفاوت می‌باشد.

biosolids – مواد جامد زیستی: به sewage sludge مراجعه کنید.

bleicherde – (واژه‌ی منسوخ) **لایه آبشویی شده**: افق A2 (E) آبشویی شده با رنگ روشن در خاک‌های اسپدوسول

blocky soil structure – ساختمان مکعبی: خاکدانه‌ها با شکل مکعبی که معمولاًدر افق B خاک‌های مناطق مرطوب یافت می‌شوند.

blown – out land – اراضی بادرفته: اراضی که تمام یا قسمت اعظم خاک آن‌ها براثر فرسایش بادی برداشت شده است. معمولاً برای تولید محصولات مناسب نمی‌باشند. تیپ اراضی متفرقه.

border-strip irrigation – آبیاری نواری: به irrigation methods مراجعه کنید

bottom land – اراضی گود: به flood plain مراجعه کنید.

breccia – برش: سنگی که از قطعات زاویه‌دار درشت به‌وسیله‌ی سیمانی به همدیگر چسبیده‌اند.

broad-base terrace – تراس پایه پهن: یک پشته کم‌ارتفاع با شیب‌های آرام که بتواند مورد کشت‌وکار قرار گیرد، در عرض مزارع شیب‌دار برای کاهش فرسایش و رواناب ایجاد می‌شود.

broadcast پخش سطحی: پخش بذرو یا کود شیمیایی در سطح خاک

buffering capacity - ظرفیت جبران: توانایی یک خاک در مقابله با تغییرات pH. این ظرفیت معمولاً با توجه به مقدار رس، هموس و سایر مواد کلوییدی تعیین می‌شود.

bulk blending – کود مخلوط: مخلوط‌کردن مواد گرددانه‌های جداگانه‌ی کودهای شیمیایی خشک برای ایجاد کود مخلوط و مصرف سریع در خاک.

bulk density , soil – وزن مخصوص ظاهری، خاک: جرم خاک خشک در واحد حجم کل که شامل هوا نیز می‌باشد. حجم کل قبل از خشک‌شدن خاک در کوره در دمای ۱۰۵ و ثبات وزن تعیین می‌گردد.

burried soil – خاک مدفون: خاکی که به‌وسیله‌ی رسوبات آبرفتی، بادرفتی و یا سایر رسوبات معمولاً در عمقی بیشتر از ضخامت سولوم مدفون شده باشد.

by – pass flow - جریان برگشتی: به preferential flow مراجعه کنید.

C horizon – افق C : افق معدنی معمولاً در زیر سولوم که تحت تأثیر فعالیت زیستی و خاک‌سازی قرار نگرفته و فاقد خصوصیات تشخیصی افق A و B می‌باشد. ممکن است شبیه موادی باشد که افق از آن تشکیل گردیده و یا ممکن است شبیه نباشد.

calcareous soil – خاک آهکی: خاکی که دارای مقادیر کافی کربنات کلسیم (اغلب همراه با کربنات منیزیم) بوده و هنگام ریختن اسید کلریدریک سرد ۰/۱ نرمال به‌طور آشکار ایجاد جوشش کند.

calcic horizon – افق کلسیک: به diagnostic subsurface horizons مراجعه کنید.

caliche – کالیچی: افقی در نزدیکی سطح خاک که کم‌و بیش به‌وسیله‌ی کربنات‌های ثانویه کلسیم و منیزیم ترسیب شده از محلول خاک سیمانی شده باشد. ممکن است به‌صورت افق نازک نرم، بستری سخت و ضخیم درست در زیر سولوم و یا افق سطحی ظاهر شده براثر فرسایش مشاهده گردد.

cambic horizon – افق کمبیک : به diagnostic subsurface مراجعه کنید.

capillary conductivity – (واژه‌ی منسوخ) آب‌گذری مویینگی: به hydraulic conductivity مراجعه کنید.

capillary fringe – حاشیه مویینگی: ناحیه‌ای از خاک درست در صفحه‌ی فشار آب صفر (سطح ایستابی) که اشباع یا تقریباً اشباع از آب باقی می‌ماند.

capillary water – آب مویینه : آبی که در لوله‌های مویین یا کوچک خاک با مکش بیشتر از معادل ۶۰ سانتی‌متر آب نگهداری می‌شود به soil water potential , moisture potential نیز مراجعه کنید.

carbon cycle – چرخه‌ی کربن: توالی تغییر اشکال تثبیت اکسید کربن در یک موجود زنده به‌وسیله‌ی سوخت‌وساز نوری و یا شیمی ساخت، رهاشدن اکسید کربن براثر تنفس و یا با مرگ و تجزیه موجودات تثبیت‌کننده‌ی آن، استفاده به‌وسیله‌ی گونه‌های ناخودپرور و نهایتاً برگشت آن به حالت اولیه می‌باشد.

carbon / nitrogen ratio – نسبت $^{C}/_{N}$: نسبت وزن کربن آلی (C) به وزن کل (N) در خاک و یا ماده‌ی آلی:

carnivore – گوشت‌خوار: موجوداتی که از حیوانات تغذیه می‌کنند.

casts , earthworm – خاکدانه‌های کرم خاکی: خاکدانه‌های گرد پایدار در آب که از روده‌ی کرم‌های خاکی عبور کرده است.

cat clays – کت کلی: خاک‌های مرطوب رسی که دارای مقادیر زیاد اشکال احیایی گوگرد می‌باشند. بدنبال زه‌کشی به‌دلیل اکسایش ترکیبات گوگرد و تشکیل اسید سولفوریک شدیداً اسیدی می‌شوند. معمولاً در مرداب‌های جزر و مدی یافت می‌شوند. به خاک‌های acid sulfate مراجعه کنید.

catena – توالی خاک‌ها: توالی خاک‌های دارای سن تقریباً یکسان که از مواد مادری یکسان در شرایط اقلیمی مشابه منشاء گرفته، اما به‌دلیل اختلاف در پستی و بلندی و زه‌کشی دارای خصوصیات متفاوت می‌باشند.

cation – کاتیون: ین دارای بار مثبت که در الکترولیز به کاتد دارای باری منفی جذب می‌شود.

cation exchange – تبادل کاتیونی: مبادله‌ی کاتیون موجود در محلول با کاتیون دیگر در سطح مواد دارای سطوح فعال مانند رس‌ها و ماده‌ی آلی می‌باشد.

cation exchange capacity – ظرفیت تبادل کاتیونی: جمع کل کاتیون‌های قابل تبادل که یک خاک می‌تواند جذب کند. بعضی مواقع ظرفیت کل تبادل، ظرفیت تبادل بازها، و ظرفیت جذب کاتیون‌هایی نامیده می‌شود. که بر حسب سانتی‌مول بار در کیلوگرم (cmol/kg) خاک (و یا سایر مواد جذب کننده مانند رس) بیان می‌گردد.

cemented – سیمانی شده: مواد سخت شده دارای پایداری، اما خرد شونده، زیرا ذرات به‌وسیله‌ی مواد سیمانی مانند هوموس، کربنات کلسیم و یا اکسیدهای آهن و آلومینیوم و سیلیس به همدیگر اتصال یافته‌اند.

channery کفه سنگ– قطعات صاف نازک سنگ آهک، ماسه سنگ و یا شیست با ۱۵ سانتی‌متر در بزرگترین بعد.

chelate – کیلات (در یونانی به‌معنی پنجه) یک نوع ترکیب شیمیایی که در آن یک ین فلزی به‌طور محکم با یک مولکول آلی به‌وسیله‌ی پیوندهای چندگانه شیمیایی ترکیب یافته است.

chert – چرت: یک شکل بدون ساختمان سیلیس که در ارتباط نزدیک با سنگ چخماق می‌باشد و به قطعات زاویه‌دار خرد می‌شود.

chisel , subsoil اسکنه‌ی زیرزمینی: یک وسیله‌ی خاک‌ورزی با یک یا چند بازو که بر روی آن‌ها واحدهای چاقو مانند (اسکنه) برای باز و سست‌کردن لایه‌های متراکم سخت معمولاً در زیرزمین در عمقی پایین‌تر از عمق عادی شخم، نصب گردیده است.

chlorite – کلریت: یک نوع رس سیلیکاتی لایه‌لایه‌ای ۱ : ۱ : ۲ که در آن لایه‌های ۱ : ۲ در تناوب با یک صفحه اکتاهیدرال منیزیم قرار می‌گیرند.

chlorosis – زردشدن : شرایطی از نبات در ارتباط با عدم موفقیت در سبزینه‌سازی (ماده‌ی سبزرنگ). رنگ برگ‌های دارای کلروز از سبز روشن تا زرد و تقریباً سفید متغیر است.

Chroma (Color) – رنگی‌بودن: به Munsell color system مراجعه کنید.

chronosequence – خاک ردیف زمانی: توالی خاک‌های مورد نظر که از یکدیگر درخصوصیاتی خاص، اساساً درنتیجه‌ی زمان به‌عنوان عامل تشکیل خاک متفاوت می‌باشند.

class soil- کلاس خاک: گروهی از خاک‌ها که دارای دامنه‌ی مشخصی از خصوصیات خاص مانند اسیدیته، درجه‌ی شیب، بافت، ساختمان، نوع کاربری، درجه‌ی فرسایش و یا زه‌کشی می‌باشند. به soil texture , soil structure نیز مراجعه کنند.

classification , soil - طبقه‌بندی خاک : به soil classification مراجعه کنند.

clastic - تخریبی : مواد مرکب از قطعات خردشده‌ی سنگ‌ها و کانی‌ها.

clay - رس : ۱) یکی از اجزای خاک که از مواد با قطر معادل کمتر از ۰/۰۰۲ میلی‌متر تشکیل شده، ۲) یک نوع بافت خاک که دارای ۴۰< درصد رس و ۴۵> درصد شن و ۴۵> درصد لای می‌باشد.

clay mineral - کانی‌رسی: مواد معدنی که به‌طور طبیعی (معمولاً به‌صورت بلوری) در خاک‌ها و سایر رسوبات زمینی طبیعی یافت می‌شوند، ذرات در اندازه‌ی رس بوده و دارای قطر کمتر از ۰/۰۰۲ میلی‌متر می‌باشند.

clay pan - سخت لایه‌ی رسی : یک لایه‌ی سنگین متراکم با نفوذپذیری کم در خاک تحت‌الارض که دارای رس بسیار بیشتری از لایه‌های فوقانی بوده و از آن به‌وسیله‌ی یک مرز مشخص نیز جدا می‌شود، سخت لایه‌های رسی وقتی خشک هستند معمولاً سخت و در حالت مرطوب، شکل‌پذیر و چسبنده می‌باشند به hard pan نیز مراجعه کنید.

clod - کلوخه : یک توده‌ی متراکم چسبنده از خاک که به‌طور مصنوعی معمولاً براثر فعالیت انسانی مانند شخم‌زدن و حفاری ایجاد شده است. به‌خصوص این کارها وقتی انجام شوند که خاک‌ها برای انجام عملیات معمول خاک‌ورزی خیلی مرطوب و یا خیلی خشک باشند.

coarse texture - بافت درشت : بافت خاک که در شن‌ها، شن‌های لومی، لوم‌های شنی (به‌استثنای لوم‌شنی خیلی ریز) به نمایش گذاشته می‌شود.

cobbelstone – قلوه‌سنگ : سنگ‌ها و یا قطعات کانی که کاملاً گرد یا نسبتاً گرد بوده و دارای قطر ۲۵-۷/۵ سانتی‌متر می‌باشند.

cohesion – هم‌چسبی : نیرویی که مواد جامد و یا مایع را به‌خاطر جاذبه بین مولکول‌های مشابه در اتصال با هم قرار می‌دهد. با افزایش دما این نیرو کاهش می‌یابد.

collapsible soil - خاک وارونده : خاکی که هنگام مرطوب‌شدن دچار کاهش نیروی مقاومت می‌شود.

colloid,soil-کلوئید خاک: (یونانی به‌معنی چسب‌مانند) مواد آلی یا معدنی با اندازه‌ی ذرات بسیارکوچک و درنتیجه سطح بسیارگسترده در واحد جرم.

colluvium – کوه‌رُفت، واریزه : واریزه قطعات سنگ و خاک که در پایه شیب‌های تند به‌دلیل عمل ثقل تجمع می‌یابند.

color - رنگ : خصوصیت یک جسم که در ارتباط با طول موجی است که منعکس نموده و یا انتشار می‌دهد.

columnar soil structure - **ساختمان ستونی** : به soil structure types مراجعه کنید.

companion planting - **کشت همراه** : عملیات کشت گونه‌های خاصی از گیاهان در ارتباط نزدیک با هم، زیرا یک گونه دارای اثرات بهبود رشد برگونه‌ی دیگر می‌باشد، بعضی مواقع بهبود رشد به‌علت اثرات مثبت برهم‌کنش می‌باشد.

compost - **کمپوست** : پس‌مانده‌های گیاهی و یا مخلوطی از پس‌مانده‌های آلی و خاک که تل‌انبار شده، مرطوب گردیده و امکان یافته که در آن تجزیه زیستی انجام شود. بعضی مواقع به آن کود شیمیایی اضافه می‌گردد. اگر عمدتاً از پس‌مانده‌های گیاهی ایجاد شود اغلب به آن کود دامی مصنوعی و یا کود دامی بازسازی شده اطلاق می‌شود.

concretion- **سخت دانه** : تراکم موضعی یک ترکیب شیمیایی مانند کربنات کلسیم و یا اکسید آهن به‌صورت ذرات و یا گره‌ها، در شکل، اندازه، سختی و رنگ متفاوت.

conduction- **انتقال** : انتقال گرما به‌وسیله‌ی تماس فیزیکی بین دو یا چند ماده.

conductivity , hydraulic – **هدایت آبی** : به hydraulic ,conductivity مراجعه شود.

conifer - **سوزنی برگ** : درختی که به رده‌ی Coniferae تعلق دارد، معمولاً همیشه سبز بوده و دارای میوه‌ی مخروطی‌شکل با برگ‌های سوزنی‌شکل و یا فلس‌مانند می‌باشد، چوب‌هایی تولید می‌کنند که به‌طور تجاری چوب نرم نامیده می‌شود.

conservation tillage - **خاک‌ورزی حفاظی**: به tillage , conservation مراجعه کنید.

consistence - **استحکام** : خصوصیات مرکب مواد خاکی که مقاومت آنرا در مقابل خردشدن و توانایی آنرا برای شکل‌گرفتن و تغییرشکل مشخص می‌سازد. واژه‌هایی مانند سست، ترد، سفت، نرم، شکل‌پذیر و چسبنده پایداری خاک را تشریح می‌کنند.

consistency - **پایداری** : تعامل نیروهای هم‌چسبی و دگرچسبی در داخل خاک در میزان‌های مختلف رطوبت که برحسب سهولت نسبی تغییرشکل و یا برش خاک بیان می‌شود.

consociation – **خاک‌مجموعه‌ی همسان** : به soil consociation مراجعه کنید.

consolidation test - **آزمایش تحکیم** : یک آزمون آزمایشگاهی که در آن جرم خاک به‌طور جانبی در داخل یک استوانه محبوس شده و با نیروی مشخص بین دو صفحه متخلخل تحت تراکم قرار می‌گیرد.

constant charge - **بار ثابت** : بار خالص سطحی ذرات معدنی، که بزرگی آن فقط در ارتباط ترکیب شیمیایی و ساختاری کانی می‌باشد. این بار ناشی از جانشینی همشکل است و تحت تأثیر pH نمی‌باشد.

consumptive use - **آب مصرفی** : آب مصرف شده به‌وسیله‌ی نبات در تعرق و رشد به انضمام هدر رفت بخار آب از خاک و یا برف مجاور و یا در برگاب در هر زمان خاص، معمولاً برحسب عمق معادل آب آزاد در واحد زمان بیان می‌شود.

contour - **خط تراز** : یک خط فرضی که نقاط هم ارتفاع را در سطح یک خاک به هم وصل می‌کند، یک تراس تراز، عمود بر امتداد شیب در یک زمین پیاده می‌شود و در تمام مسیر آن تقریباً بدون شیب می‌باشد.

contour strip cropping - **کشت نواری تراز** : کشت گیاهان در نوارهای باریک که در آن عملیات زراعی تقریباً در روی تراز انجام می‌شود. معمولاً نوارهایی از علف‌های گندمی، گیاهان متراکم و یا آیش در تناوب با گیاهان ردیفی قرار می‌گیرند.

controlled traffic - **تردد مهار شده** : یک نظام مزرعه‌داری که در آن تمام حمل و نقل‌های وسایط چرخ‌دار در مسیرهای مشخص و یا ثابت انجام می‌گیرد، بنابراین تراکم مکرر خاک خارج از مسیر انتخاب شده انجام نمی‌شود.

convection - **انتقال تماسی** : انتقال حرارت از داخل یک محلول و یا یک گاز به دلیل حرکت مولکولی.

corrugated irrigation : **آبیاری شیاری** : به irrigation methods مراجعه کنید.

cover crop - **محصول پوششی** : یک زراعت متراکم که عمدتاً به منظور حفاظت و بهبود خاک بین دوره‌های تولید عادی محصول و یا بین درختستان و تاکستان‌ها کشت می‌شوند.

creep - **خزش** : حرکت توده‌ای آرام خاک و یا مواد خاکی به طرف پایین در یک شیب نسبتاً تند، عمدتاً براثر ثقل، اما به‌واسطه‌ی اشباع با آب و تناوب یخ‌بستن و ذوب یخ ایجاد می‌شود.

crop rotation - **تناوب زراعی** : برنامه توالی کشت محصولات در تناوب با یکدیگر در همان قطعه زمین که مغایر با کشت مداوم یک محصول و یا کشت محصولات مختلف بدون برنامه می‌باشد.

crotovina - **حفرات جانوران**: حفرات سابق جانوران در یک خاکرخ که با مواد آلی و یا مواد دیگر طبقات پُر شده‌اند.

crumb - **ساختمان اسفنجی** : یک واحد ساختمانی طبیعی نرم و متخلخل که کم‌وبیش گرد بوده و دارای قطر ۱ تا ۵ میلی‌متر است به soil structure types مراجعه کنید.

crushing strength - **نیروی برش**: نیروی لازم برای خردکردن یک توده‌ی خاک خشک و یا برعکس پایداری یک توده‌ی خاک خشک به خردشدن که برحسب نیرو در واحد سطح (فشار) بیان می‌شود.

crust - **سله** : یک لایه‌ی سطحی برروی خاک که ضخامت آن از چند میلی‌متر تا شاید ۳ سانتی‌متر متغیر است، بسیار متراکم و سخت بوده و هنگام خشک‌شدن از مواد زیر خود شکننده‌تر است.

cryoturbation - **جابه‌جایی یخی** : گسیختگی فیزیکی و جابه‌جایی مواد خاکی در داخل خاکرخ براثر نیروهای یخ‌زدن و ذوب یخ، بعضی مواقع به آن چرخش یخی اطلاق می‌شود که سبب ایجاد خاکرخ‌های نامنظم، شکسته، به هم تابیده و قطعات سنگ جهت یافته و تراکم مواد آلی برروی سطح یخبندان دایمی می‌شود.

cryptogam - مجموعه‌ای از جلبک‌ها، گلسنگ‌ها، خزه‌ها که معمولاً سبب ایجاد یک لایه سخت نامنظم برروی سطح خاک، به‌خصوص در خاک‌های بایر مناطق خشک می‌شود. بعضی مواقع به آن cryptogam crust اطلاق می‌شود.

crystal - **بلور**: یک ماده‌ی همسان معدنی با ترکیب شیمیایی مشخص که به‌وسیله‌ی سطوح مستوی به‌هم پیوند یافته و زوایای مشخصی با یکدیگر ایجاد می‌کنند که به ماده یک شکل هندسی خاص می‌دهد.

crystal structure - **ساختار بلور** : به ترتیب قرارگرفتن اتم‌ها در یک ماده بلوری اطلاق می‌شود.

crystalin rock - **سنگ‌های بلوری** : سنگ‌های حاوی مواد مختلف که در محل خود از مواد مذاب، بلوری شده‌اند. به igneous rock و sedimentary rock نیز مراجعه کنید.

cultivation - **کشت‌وکار** : عملیات خاک‌ورزی که برای آماده‌کردن زمین برای کشت بذر و یا نشا کاری به‌کار می‌رود و یا بعداً برای مبارزه با گیاهان هرز وسست‌کردن خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند.

cutans - **کوتان** : تغییر بافت، ساختمان و یا ساختار در سطوح طبیعی مواد خاکی به علت تراکم اجزاء به‌خصوص خاک

cynobacteria - **سیانوباکتری** : باکتری‌های که دارای سبزینه (کلروفیل) بوده و برای فرایند کربن گیری (سوخت‌وساز نوری) و تثبیت زیستی نیتروژن سازگاری یافته‌اند. قبلاً به آن‌ها جلبک‌های سبز – آبی اطلاق می‌گردید.

deciduous plants - **نبات خزان‌کننده** : نباتی که تمام برگ‌های آن در هر سال در فصل مشخص خزان و ریزش می‌کند.

decomposition - **تجزیه** : تجزیه شیمیایی یک ترکیب (معدنی و یا آلی) به ترکیبات ساده‌تر که اکثراً با کمک ریزجانداران انجام می‌شود.

deflocculate - **جداسازی** : ۱- تفکیک اجزاء جداگانه ذرات یک ترکیب به‌وسیله‌ی فرایندهای شیمیایی و یا فیزیکی ۲- به تعلیق درآوردن ذرات پراکنده در یک نظام کلوییدی

delta - **دلتا** - یک رسوب آبرفتی که رود هنگام ورود به گسترده آبی آرام‌تر ته‌نشین می‌کند.

denitrification - **نیترات زدایی**: احیای زیست‌شیمی نیترات و نیتریت به نیتروژن گازی چه به‌صورت نیتروژن مولکولی و یا اکسیدهای نیتروژن.

density - **چگالی** : به particle density و bulk density مراجعه کنید.

desalinization - **شوری‌زدایی** : جدانمودن نمک‌ها از خاک‌های شور، معمولاً به‌وسیله‌ی آبشویی اراضی

desert crust - **پوسته‌ی بیابانی**: لایه‌ی سخت که حاوی کربنات کلسیم، گچ و سایر مواد اتصال‌دهنده است که در سطح مناطق بیابانی ظاهرشده‌است.

desert pavemant - **سنگ‌فرش بیابانی** : تراکم طبیعی قلوه‌سنگ‌ها، قطعه‌سنگ‌ها و سایر قطعات سنگی نزدیک به‌هم در محل اصلی در سطح بیابان، عوامل فرساینده آب و باد سبب انتقال ذرات کوچک‌تر شده است.

detritivore - **ریزه‌خوار** : یک جاندار که برروی مواد تخریب‌شده زندگی می‌کند.

detritus - **خرده ریز** : بقایای حاصل از گیاهان و نباتات مرده.

desorption - **رهاسازی** : جداسازی مواد جذب شده در روی سطوح.

diagnostic horizons- (مورد استفاده در رده‌بندی خاک) **افق‌های تشخیصی**: افق‌های دارای خصوصیات خاکی به‌خصوص که معرف کلاس مشخصی از خاک می‌باشند. افق‌های که در سطح خاک می‌باشند epipedon و آن‌هایی که زیرسطح خاک می‌باشند diagnostic subsurface horizons نامیده می‌شوند.

diagnostic subsurface horizons - افق‌های تشخیصی زیرزمینی : در رده‌بندی خاک افق‌های تشخیصی زیر مورد استفاده می‌باشند:

agric horizon - افق اگریک: یک افق خاک معدنی که در آن رس، لای و هموس حاصل از لایه‌های فوقانی شخم شده و کودشیمیایی‌خورده تجمع یافته‌اند، سوراخ کرم‌ها، رس، لای و هموس آبشویی شده حداقل ۵٪ حجم افق را اشغال کرده‌اند.

albic horizon- افق البیک : یک افق خاک معدنی که اکسیدهای آهن از آن جدا شده و یا اکسیدها در آن چنان تفکیک شده‌اند که رنگ افق عمدتاً به‌وسیله‌ی ذرات شن و لای اولیه به‌جای پوشش موجود بر روی این مواد مشخص می‌شود.

argillic horizon– افق ارجیلیک : یک افق خاک معدنی که براثر تجمع رس‌های سیلیکاتی ورقه‌ای آبشویی شده مشخص می‌شود.

calcic horizon - افق کلسیک : یک افق خاک معدنی غنی از کربنات کلسیم ثانویه که بیشتر از ۱۵ سانتی‌متر ضخامت داشته و دارای حداکثر بیش از ۱۵ درصد و حداقل ۵ درصد کربنات کلسیم معادل نسبت به افق زیرین C باشد.

cambic horizon - افق کمبیک : یک افق خاک معدنی که دارای بافت لوم شنی خیلی ریز و یا بافت ریزتر است، دارای بعضی کانی‌های قابل هوادیدگی بوده و به‌علت تغییر و یا حذف مواد معدنی شاخص می‌باشد. در افق کمبیک سیمانی‌شدن و سخت‌شدن وجود نداشته و فاقد شواهد آبشویی برای برآورد نیازهای افق ارجیلیک و اسپودیک است.

duripan- سخت لایه :یک افق خاک معدنی که به‌وسیله‌ی سیلیس چنان سیمانی شده است که قطعات هوا خشک آن در آب و اسید کلریدریک وا نمی‌روند.

gypsic horizon - افق جیپسیک : یک افق خاک معدنی غنی از سولفات کلسیم که بیش از ۱۵ سانتی‌متر ضخامت دارد.

kandic horizon - افق کندیک : افقی که افزایش رس نسبت به افق‌های فوقانی شدید بوده و دارای رس‌های کم‌فعالیت می‌باشند.

nitric horizon - افق ناتریک : یک افق خاک معدنی که دارای پیش نیازهای افق ارجیلیک بوده اما دارای ساختمان منشوری، ستونی و یا مکعبی نیز بوده و بخشی از آن دارای بیشتر از ۱۵ درصد سدیم قابل تبادل می‌باشد.

oxic horizon - افق اکسیک : یک افق خاک معدنی که حداقل ۳۰ سانتی‌متر ضخامت داشته و عملاً به‌دلیل نبود کانی‌های اولیه قابل‌هوادیدگی و یا رس‌های ورقه‌ای ۲:۱ شاخص می‌باشد. در این افق رس‌های ورقه‌ای ۱:۱ و کانی‌های بسیار نامحلول مانند شن کوارتز، اکسیدهای آب‌دار آهن و آلومینیوم وجود داشته و دارای ظرفیت تبادل کاتیونی کم و مقادیر اندکی کاتیون‌های بازی قابل تبادل است.

petrocalcic horizon - افق پترو کلسیک : یک افق پیوسته‌ی سخت شده کلسیک که به‌وسیله‌ی کربنات کلسیم و در بعضی جاها به‌وسیله‌ی کربنات منیزیم سیمانی شده است. این افق وقتی خشک باشد نمی‌تواند به‌وسیله‌ی بیل یا مته خاکبرداری حفاری گردد. قطعات خشک آن در آب وا نمی‌رود، این لایه برای ریشه غیرقابل نفوذ است.

petrogypsic horizon - افق پتروجیپسیک : یک افق پیوسته‌ی متراکم شدیداً سیمانی شده به‌وسیله‌ی سولفات کلسیم. وقتی خشک است می‌توان آن‌را با بیل خرد کرد، قطعات خشک آن در آب وا نمی‌روند و در مقابل ریشه غیرقابل نفوذ است.

placic horizon - افق پلاسیک : یک افق خاک معدنی سیاه تا سیاه قرمز که معمولاً نازک بوده اما ضخامت آن از ۱ تا ۲۵ سانتی‌متر می‌باشد. این افق معمولاً به‌وسیله‌ی آهن سیمانی شده و نفوذ آب در آن آهسته بوده و ریشه‌ها در آن انتشار نمی‌یابند.

salic horizon - افق سالیک : یک افق خاک معدنی که از نمک‌های ثانویه غنی بوده و از گچ در آب سرد بسیار محلول‌تر می‌باشد. ضخامت افق سالیک ۱۵ سانتی‌متر و یا بیشتر می‌باشد.

sombric horizon - افق سامبریک: یک افق زیرسطحی خاک معدنی که شامل هموس آبشویی شده بوده اما دارای ظرفیت تبادل کاتیونی و درصد اشباع بازی پایین است. این افق عمدتاً به خاک‌های سرد و مرطوب فلات‌های مرتفع و مناطق کوهستانی اقالیم حاره‌ای و شبه‌حاره‌ای اختصاص دارد.

spodic horizon - افق اسپدیک : یک افق خاک معدنی که براثر تراکم ناشی از آبشویی مواد بی‌شکل مرکب از آلومینیوم و کربن آلی با و یا بدون آهن مشخص شده است.

sulfuric horizon - افق سولفوریک : یک افق زیرسطحی چه در خاک‌های معدنی و چه در خاک‌های آلی که دارای pH<۳/۵ و نقاط رنگی کاه مانند (نقاط رنگی جاروسیت) می‌باشد. این افق بااکسیده‌شدن موادغنی از سولفید تشکیل شده و برای نباتات بسیار سمی است.

diagnostic surface horizons - افق‌های تشخیصی سطحی: که در رده‌بندی خاک به‌کار می‌روند. اپی‌پدون نامیده می‌شوند.

anthropic epipedon - افق انتروپیک : یک افق سطحی از خاک‌های معدنی که دارای همان پیش نیازهای افق سطحی مالیک بوده اما دارای بیشتر از ۲۵۰ . p.p.m P_2O_5 محلول در اسید سیتریک ۱ درصد می‌باشد، و یا برای بیشتر از ۱۰ ماه (تجمعی) در ایامی که آبیاری نمی‌شود خشک است. افق انتروپیک طی زمان‌های طولانی کشت‌وکار و مصرف کود شیمیایی درست می‌شود.

histic epipedon - افق هیستیک : یک افق آلی خاک که طی بعضی از ایام سال از آب اشباع است مگر این‌که به‌طور مصنوعی زه‌کشی شود این افق درسطح و یا نزدیک سطح یک خاک معدنی قرار گرفته است.

melanic epipedon - افق ملانیک : یک افق سطحی که از مواد مادری آتشفشانی تشکیل شده است و دارای بیشتر از ٦ درصد کربن آلی، رنگ تیره، وزن مخصوص ظاهری بسیار پایین و ظرفیت جذب آنیونی بالا می‌باشد.

mollic epipedom - افق مالیک : افقی سطحی یک خاک معدنی که دارای رنگ تیره بوده و نسبتاً ضخیم است، دارای حداقل ۰/٦ درصد کربن آلی می‌باشد، ساختمان خاک در حالت خشک متراکم و سخت نیست، دارای درصد اشباع بازی بیشتر از ۵۰ درصد و کمتر از ۲۵۰ p.p.m P_2O_5 محلول در اسید سیتریک ۱ درصد بوده و عمدتاً از کاتیون‌های دو ظرفیتی اشباع می‌باشد.

ochric epipedon - افق اکریک : افق سطحی از یک خاک معدنی که دارای رنگ بسیار روشن و کرومای بسیار بالا است، میزان کربن آلی بسیار پایین بوده و یا برای اینکه یک افق پلاگن، مالیک،آمبریک، انتروپیک و یا هیستیک نامیده شوند بسیار نازک می‌باشد. در حالت خشکی است هم سخت و هم متراکم است.

plaggen epipedon - افق پلاگن : یک افق سطحی ساخت انسان با ضخامت بیش از ۵۰ سانتی‌متر که با دادن کود حیوانی و به‌هم زدن خاک و کشت‌وکار در مدت طولانی ایجاد شده است.

umbric epipedon - افق آمبریک : یک افق سطحی از خاک‌های معدنی که دارای همان پیش نیازهای افق مالیک در ارتباط با رنگ، ضخامت، میزان کربن آلی، استحکام ساختمان، میزان P_2O_5 بوده اما درصد اشباع بازی آن از ۵۰٪ کمتر است.

diatomaceous earth - اراضی دیاتومه : رسوبات زمین ساخت از مواد نرم خاکستری رنگ سیلیکاتی که عمدتاً و یا کلاً از بقایای دیاتومه‌ها ایجاد شده‌اند. ممکن است به‌صورت گردی، و یا مواد صلب متخلخل وجود داشته باشند.

diatoms - دیاتومه : جلبک‌های که دارای دیواره‌ی یاخته‌ای سیلیسی بوده که بعد از مرگ استخوان‌بندی آن‌ها باقی می‌ماند. هر کدام از جلبک‌های یاخته همسان و یا پرکنه‌ی جلبک‌های میکروسکوپی که در کلاس Bacillariaceae قرار دارند. دیاتومه‌ها در آب‌های شیرین و یا شور به‌مقدار کافی وجود داشته و بقایای آن‌ها به‌طور گسترده در خاک‌ها توزیع یافته است.

diffusion - پخشیدگی، انتشار: حرکت اتم‌ها در مخلوط گازی و یا ین‌ها در محلول که عمدتاً در اثر حرکت تصادفی آن‌ها می‌باشد.

dioctahedral sheet - صفحه دی‌اکتاهیدرال : یک صفحه‌ی ۸ وجهی از رس‌های سیلیکاتی که در آن‌ها محل اتم‌های فلزی با آرایش ٦ طرفه عمدتاً به‌وسیله‌ی یون‌های ۳ ظرفیتی مانند آلومینیوم پر شده است.

disintegration - خردشدن : تجزیه‌ی فیزیکی و یا مکانیکی و یا تفکیک یک ماده به اجزای تشکیل‌دهنده‌ی آن (برای نمونه خردشدن سنگ به کانی‌های تشکیل دهنده‌ی آن) می‌باشد.

disperse - پراکنده‌شدن : ۱) خردشدن ذرات مرکب، مانند خاکدانه‌ها به ذرات جداگانه تشکیل دهنده‌ی آن ۲) توزیع و یا تعلیق ذرات ریز مانند رس در داخل یک محیط پراکنش مانند آب.

dissolution - انحلال : فرایندی که در آن مولکول‌های گاز، جامد و یا محلول دیگر در یک محلول حل شده و بنابراین به‌طور کامل و یکنواخت در سرتاسر حجم مایع پراکنده می‌شوند.

diversion dam - سد انحرافی : یک سازه و یا مانع که برای انحراف بخشی و یا تمام آب یک رودخانه به مسیر دیگر ساخته می‌شود.

diversion terrace - تراس آب‌برگردان : به terrace مراجعه کنید.

drain - زه‌کش : تهیه‌ی آبراهه‌هایی مانند نهرهای روباز و یا تنبوشه‌های زه‌کشی به‌طوری‌که آب اضافی بتواند براثر جریان سطحی و یا داخلی خاک خارج شود ۲) هدررفت آب (از خاک) به‌وسیله‌ی فرونشست.

drainag , soil - زه‌کشی خاک : فراوانی و طول ایامی که خاک از آب اشباع نیست.

drainfield , septic tank - میادین زه‌کشی، مخزن فاضلاب : محدوده‌ای از خاک که پساب حاصل از مخزن فاضلاب به‌داخل آن فرستاده می‌شود تا آن‌را از بخش‌های پایین خاک‌رخ برای دفع و تصفیه، زه‌کشی کند.

drift - **مواد زمین رُفت** : مواد از هر نوع که به‌وسیله‌ی فرایندهای زمین ساخت پس از برداشت از یک محل در محل دیگر ترسیب یافته باشند. یخ‌رفت‌های یخچالی شامل موادی است که به‌وسیله‌ی یخچال‌ها، رودها، جویبارها و دریاچه‌های همراه آن انتقال یافته‌اند.

drumlin - تپه‌های کم‌ارتفاع دراز صاف استوانه‌ای شکل که محور طولانی آن‌ها موازی با مسیر حرکت یخ می‌باشد.

dryland farming - **زراعت دیم** : عملیات تولید محصول در مناطق دارای بارندگی کم بدون انجام آبیاری

duff - کف‌پوشی از لایه سطحی آلی نسبتاً تجزیه‌شده‌ی خاک‌های جنگلی

duripan - **سخت لایه** : به hard pan , diagnostic subsurface horizons مراجعه کنید.

dust mulch - **خاک‌پوش** : یک لایه سست با گرد دانه‌های ریز و یا گردمانند برروی سطح خاک، که معمولاً به‌وسیله‌ی ادوات کم‌عمق ایجاد می‌شود.

E horizon - **افق E** : افقی که با بیشینه آبشویی رس‌های سیلیکاتی و اکسیدهای آهن و آلومینیوم مشخص می‌شود، معمولاً در بالای افق B و زیر افق A قرار گرفته است.

earthworms - **کرم‌های خاکی** : جانوران مربوط به خانواده Lumbricidae که در داخل خاک حفاری و زندگی می‌کنند. آن‌ها پس‌مانده‌های گیاهی را با خاک مخلوط کرده و سبب بهبود تهویه خاک می‌شوند.

ectotrophic mycorrhiza (ectomycorrhiza) – **قارچ-ریشه‌ی خارجی** : همزیستی مشترک ریسه‌ی قارچ و ریشه‌ی گیاهان خاص که در آن ریسه‌ی قارچ یک پوشش متراکم برروی سطح ریشه ایجاد کرده و در خاک‌های اطراف، و همچنین بین یاخته‌های پوستی اما نه در داخل یاخته‌ها گسترش می‌یابد. این همزیستی عمدتاً درارتباط با درختان خاص می‌باشد به endotrophic mycorrhiza نیز مراجعه کنید.

edaphology - **خاک شناسی** : علمی که در ارتباط با تأثیر خاک‌ها بر اشیای زنده، به‌خصوص نباتات، و از جمله استفاده انسان از اراضی برای رشد گیاهان می‌باشد.

effective precipitation - **بارندگی مؤثر** : بخشی از کل بارندگی که برای رشد گیاهان و یا برای پیشرفت تشکیل خاک قابل استفاده می‌باشد.

electrical conductivity (EC) – **هدایت الکتریکی**: ظرفیت یک ماده برای هدایت و یا انتقال جریان الکتریسته در خاک‌ها و آب، برحسب زیمنس‌درمتر اندازه‌گیری می‌شود و در ارتباط با مواد حل‌شدنی می‌باشد.

electrokinetic potential - **پتانسیل جنبش الکتریکی** : در نظام کلوییدی به تفاوت پتانسیل بین لایه‌ی غیرمتحرک چسبیده به سطح فاز پراکنده با محیط پراکنش می‌باشد.

eluviation – آبشویی، برداشت مواد خاکی در تعلیق (و یا در محلول) از یک لایه و یا لایه‌های خاک (هدررفت مواد در محلول معمولاً به‌وسیله‌ی واژه آبشویی تشریح می‌شود) به leaching نیز مراجعه کنید.

endotrophic mycocorrhiza (endomycorrhiza) – **قارچ- ریشه‌ی خارجی**: یک همزیستی مشترک ریسه‌ی قارچ و ریشه‌ی گونه‌های گیاهی که در آن ریسه‌ی قارچ مستقیماً در داخل ریشه‌های مویی و دیگر یاخته‌های اپیدرم و گاهاً در داخل یاخته‌های پوستی وارد می‌شود. ریسه‌های انفرادی از سطح ریشه به خارج و به‌داخل خاک اطراف توسعه می‌یابد. به vesicular arbuscular mycorrhiza نیز مراجعه کنید.

Entisols - **رده انتی‌سول** : به طبقه‌بندی خاک مراجعه کنید.

eolian soil material - **مواد بادرفت** : مواد خاکی تجمع یافته براثر عمل باد. گسترده‌ترین مناطق در آمریکا رسوبات سیلتی (لس) است اما اراضی گسترده‌ای نیز با رسوبات شنی وجود دارند.

epipedon – **لایه‌ی تشخیصی سطحی** : یک افق تشخیصی سطحی که شامل بخش فوقانی تیره خاک ناشی از ماده‌ی آلی و یا افق آبشویی شده فوقانی و یا هر دو می‌باشد. (رده‌بندی خاک.)

equilibrium phosphorus concentration – **غلظت تعادلی فسفر** : غلظت فسفر در یک محلول که در تعادل با خاک است. Epco عبارتست از غلظت فسفر محلول حاصل از رهاسازی فسفر خاک به آب مقطر که فاقد فسفر است.

erosion - **فرسایش** : ۱)سائیدگی سطح اراضی براثر رواناب، باد، یخ و یا سایر عوامل زمین ساخت، از جمله فرایندهای مانند خزش ثقلی می‌باشد ۲)جداکردن و حرکت خاک و یا سنگ بوسیله‌ی آب، باد، یخ و یا ثقل می‌باشد. واژه‌های زیر برای تشریح انواع مختلف فرسایش آبی مورد استفاده می‌باشند:

accelerated erosion - **فرسایش شتابی** : فرسایشی که از فرسایش عادی، طبیعی و زمین شناخت، عمدتاً در نتیجه فعالیت‌های انسانی و در بعضی موارد حیوانات بسیار سریع‌تراست.

gully erosion - فرسایش آبکندی : فرایند فرسایشی که در آن آب در آبراهه‌های باریک تمرکز یافته و طی زمان‌های کوتاه سبب برداشت خاک از این محدوده‌ی باریک تا اعماق قابل ملاحظه می‌گردد، که در مقدار اندک، ۱ تا ۲ متر و در مقدار زیاد، از ۲۳ تا ۳۰ متر متغیر است.

natural erosion - فرسایش طبیعی : فرسایش سطح کره‌ی زمین به‌وسیله‌ی آب، یخ و یا دیگر عوامل طبیعی در شرایط عادی عوامل محیطی مانند اقلیم، پوشش گیاهی و غیره، انسان در آن دخالت ندارد. مترادف geologic erosion می‌باشد.

rill erosion - فرسایش شیاری : یک فرایند فرسایشی که در آن آبراهه‌های کوچک متعددی فقط با چند سانتی‌متر عمق تشکیل می‌شود، این نوع فرسایش در خاک‌های جدیداً شخم خورده یافت می‌شوند. به rill نیز مراجعه کنید.

sheet erosion - فرسایش صفحه‌ای : برداشت لایه‌های نسبتاً یکنواخت خاک از سطح اراضی به‌وسیله‌ی رواناب.

splash erosion - فرسایش پاشمانی : پاشش ذرات کوچک خاک به‌وسیله‌ی برخورد قطرات باران برروی خاک بسیار مرطوب می‌باشد، ممکن است ذرات سست و جدا شده متعاقباً به‌وسیله‌ی رواناب سطحی برداشت شده و یا برداشت نشوند.

esker - یک برجستگی باریک از مواد یخچالی شنی و سنگ‌ریزه‌ای که به‌وسیله‌ی رود در یک دره با دیواره‌های یخی، و یا در یک سُفته یا عقب‌نشینی یخچال به جای گذاشته می‌شود.

essential element - عناصر اصلی : عناصر شیمیایی لازم برای رشد عادی گیاهان.

eukaryot - ایوکاریوت : موجوداتی که یاخته‌های آن هرکدام دارای یک هسته واضح قابل مشاهده می‌باشند.

eutrophic - غلظت بهینه : دارای غلظت بهینه عناصر غذایی (و یا نزدیک آن) برای رشد نبات و حیوان

eutrophication - غنی‌شدن : غنی‌شدن عناصر غذایی در دریاچه‌ها، استخرها و یا سایر منابع آب که سبب تقویت رشد موجودات آبزی بوده و منجر به کمبود اکسیژن در آب می‌شود.

evapotranspiration - تبخیر - تعرق : کاهش مشترک آب بوسیله‌ی تبخیر از سطح خاک و تعرق از گیاه در یک منطقه مشخص و در یک مدت مشخص.

exchangeable sodium percentage - درصد سدیم قابل تعویض : میزان جای‌گزینی همتافت جذب یک خاک به‌وسیله‌ی سدیم که به‌صورت زیر بیان می‌شود.

$$ESP = \frac{\text{سدیم قابل تبادل (سانتی‌مول بار در کیلوگرم خاک)} \times 100}{\text{ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی‌مول بار در کیلوگرم خاک)}}$$

exchange capacity - ظرفیت تبادل : ظرفیت کل بار یونی یک همتافت فعال جذب برای جذب یون‌ها. به anion exchange و cation exchange capacity نیز مراجعه کنند.

exfoliation - پوسته پوسته‌شدن : پوست‌اندازی لایه‌های یک سنگ از سطح به داخل، معمولاً براثر انبساط و انقباض حاصل از تغییرات دما.

expansive soil - خاک قابل انبساط : خاکی که براثر مرطوب و خشک‌شدن، به علت مقدار زیاد کانی‌های رسی قابل انبساط دچار تغییرات شدید حجم می‌شود.

external surface - سطح خارجی : مساحت سطح آشکار شده یک بلور یا میسل رسی در بالا، پایین و اطراف آن

facultative organism - موجودات انتخابگر : موجوداتی که قادرند هم سوخت‌وساز هوازی و هم سوخت‌وساز غیرهوازی داشته باشند.

fallow - آیش : اراضی زراعی نکاشت باقی‌مانده به‌منظور حفظ توان تولید. عمدتاً از طریق ذخیره‌ی آب، عناصر غذایی و یا هر دو. آیش تابستانه یک مرحله معمول قبل از کشت غلات در مناطق دارای بارندگی محدود می‌باشد. خاک از گیاهان هرز و دیگر گیاهان پاک شده بنابراین سبب حفظ عناصر غذایی و آب برای گیاه سال بعد می‌شود.

family , soil - خانواده‌ی خاک : دسته‌ی حد واسط بین گروه بزرگ و سری خاک در نظام طبقه‌بندی خاک، خانواده‌ها براساس خصوصیات فیزیکی و کانی‌شناسی مهم از نظر رشد گیاه مشخص می‌شوند (رده‌بندی خاک).

fauna - زیاگان : حیات جانوری در یک منطقه و یا در یک بوم‌سامان.

ferrihydrite ($Fe_5HO_8.4H_2O$) : اکسید آهن قهوه‌ای قرمز تیره که در خاک‌های مرطوب تشکیل می‌شود.

fertigation - کود آبیاری : استعمال کودهای شیمیایی در آب آبیاری، عمدتاً از طریق نظام آبیاری بارانی.

fertility , soil - حاصلخیزی خاک : کیفیت خاک که آنرا قادر می‌سازد عناصر شیمیایی اساسی را در مقادیر و نسبت‌های لازم برای گیاهان خاص فراهم کند.

fertilizer - کود: هر نوع ماده‌ی آلی و معدنی با منشاء طبیعی و یا مصنوعی که برای تأمین عناصر اساسی خاص برای رشد نبات به خاک اضافه می‌شود. انواع کودهای عمده شامل :

bulk blended fertilizers - مواد کودی مخلوط جامد که در کارخانه‌های کوچک با هم مخلوط و در مزارع به‌صورت شفته توزیع می‌گردند، معمولاً به‌طور مستقیم در مزارع به‌وسیله‌ی بارکش و یا دیگر وسایل پخش می‌شوند.

granulated fertilizers - کودهای گرد دانه : کودهای که به شکل گرد دانه‌های پایدار و در اندازه‌ی یکنواخت وجود دارند، سبب تسهیل جابه‌جاکردن مواد و کاهش گرد نامطلوب می‌گردد.

liquid fertilizers - کود مایع : کودهای سیال که حاوی عناصر اساسی در شکل مایع چه به‌صورت عناصر محلول و یا مواد تعلیقی مایع و یا هر دو می‌باشد.

mixed fertilizers - کودهای مخلوط : دو یا چند مواد کودی که با هم مخلوط می‌شوند ممکن است به صورت گرد خشک، گرددانه، قرص‌مانند، مخلوط حجمی و یا مایع باشند.

fertilizer requirement - نیاز کودی : مقدار مورد نیاز عناصر غذایی خاص نبات علاوه بر آنچه خاک تأمین می‌کند برای تأمین رشد نبات در حد مطلوب.

fibric materials - مواد رشته‌ای : به organic soil materials مراجعه کنید.

field capacity (field moisture capacity)- میزان رطوبت مورد نیاز : درصد آب که ۲ تا ۳ روز بعد از آن‌که خاک اشباع گردیده و بعد از این‌که زه‌کشی عملاً متوقف شده باشد در خاک باقی می‌ماند.

fine-grained mica - میکای دانه‌ریز : رس سیلیکاتی با ساختمان لایه‌ای ۲:۱ که اکثر سیلیس در صفحه‌ی چهاروجهی به‌وسیله‌ی آلومینیوم جایگزین شده و دارای مقدار قابل‌توجهی پتاسیم بین لایه‌ای می‌باشد، که لایه‌ها را به هم متصل نموده و از انبساط بین لایه‌ای و حجیم‌شدن ممانعت نموده، و سبب محدودشدن ظرفیت تبادل کاتیونی می‌شود.

fine texture - بافت ریز : شامل مقادیر زیادی از ذرات ریز، به‌خصوص رس و لای می‌باشد (شامل بافت‌های لوم رسی، لوم رسی شنی، لوم رسی سیلتی، رسی شنی، رس سیلتی و بافت رسی می‌باشد).

first bottom - اولین کف : سیلدشت معمولی یک رود.

fixation - تثبیت : ۱) غیراز نیتروژن عنصری : فرایندی در خاک که در آن عناصر اساسی غذایی مورد نیاز رشد نبات از شکل محلول و یا قابل‌تبادل به شکل بسیار کم‌محلول و یا غیرقابل‌تبادل تبدیل می‌شوند. ۲) در مورد نیتروژن عنصری : فرایندی که در آن نیتروژن عنصری گازی به‌طور شیمیایی برای تولید آمونیاک با هیدروژن ترکیب می‌گردد.

biological nitrogen fixation - تثبیت زیستی نیتروژن : در دما و فشار معمولی صورت می‌گیرد، معمولاً به‌وسیله‌ی باکتری‌ها، جلبک‌ها و اکتینومیست‌های خاص انجام می‌شود، که ممکن است با گیاهان عالی همزیست بوده و یا نباشند.

chemical nitrogen fixation - تثبیت شیمیایی نیتروژن : در فشار و دمای بالا در کارخانه‌ها انجام می‌گیرد و تولید آمونیاک می‌کند که برای ساخت اکثر کودهای شیمیایی مورد استفاده می‌باشد.

flagstone - سنگ ایستاده : یک سنگ نسبتاً نازک و یا قطعات کانی با طول ۳۸-۱۵ سانتی‌متر که معمولاً از پلمه‌سنگ – اسلیت، سنگ آهک و ماسه سنگ تشکیل شده است.

flocculate - هماوری : ایجاد خاکدانه و یا به‌هم پیوستن ذرات ریز و انفرادی خاک به‌خصوص رس ریز به خوشه‌ها و ذرات پنبه مانند، عکس deflocculate و یا disperse می‌باشد.

floodplain - سیلدشت : پهنه‌ی اراضی که در آن رودخانه تعریض می‌گردد، از رسوبات حاصل از سرریزگشتن رود ایجاد می‌شود و وقتی رود در حالت طغیانی است به زیر آب می‌رود. بعضی مواقع به آن اراضی کفی و یا اراضی پست گفته می‌شود.

flora – گیاگان: مجموعه‌ی کل انواع گیاهان یک منطقه در یک زمان. جاندارانی که با تردید در قلمرو گیاهی مورد ملاحظه قرار می‌گیرند.

fluorapatite - فلوروراپاتیت : یکی از اعضای گروه کانی‌های اپاتیت که دارای فلور می‌باشد. معمول‌ترین کانی در سنگ‌های فسفاته است.

fluvial deposits - مواد مادری رسوبی : مواد مادری رسوبی که به‌وسیله‌ی رودها و نهرها ته‌نشین گردیده‌اند.

fluviogalacial - مواد مادری رودخانه‌ای یخچالی : به glacio fluvial مراجعه کنید.

foliar diagnosis - تشخیص برگی : برآورد کمبود (زیادبود) عناصر غذایی نباتات براساس آزمون ترکیب شیمیایی بخش‌های انتخاب شده نبات و رنگ و خصوصیات رشد پوشش برگی گیاهان می‌باشد.

fragipan - سخت لایه‌ی شکننده : سخت لایه‌ی متراکم و ترد زیرزمینی در خاک‌ها، که سختی خود را عمدتاً به‌خاطر چگالی و یا تراکم زیاد، نه میزان رس و نه سیمانی‌شدن به‌دست آورده است. قطعات برداشت شده از این لایه ترد بوده اما مواد در جای خود چنان متراکم هستند که انتشار ریشه درختان و حرکت آب به‌داخل آن بسیار آهسته می‌باشد.

friable - ترد، شکننده : یک واژه‌ی استحکام خاک که ذرات به آسانی خرد می‌شوند.

frigid - یخ‌زده : به soil temperatur classes مراجعه کنید.

fritted micronutrients - خاکستر سیلیکات‌ها: دارای تجزیه‌های کلی تضمین مقدار ریزمغذی‌ها با خصوصیات آزادشدن تحت نظر (نسبتا آهسته) می‌باشند.

fulvic acid - اسید فولویک : واژه‌ای که دارای استفاده‌ی متفاوت بوده و معمولاً مربوط به مخلوط مواد آلی باقی‌مانده در محلول پس از اسیدی‌کردن عصاره آهکی رقیق خاک می‌باشد.

functional diversity - تنوع رفتار : خصوصیات یک بوم‌سامان که به‌وسیله‌ی ظرفیت آن در انجام تعداد زیادی از تغییر شکل‌های زیست‌شیمی و سایر وظایف مشخص می‌شود.

fungi - قارچ‌ها : ریزجانداران ایوکاریوت با یک دیواره‌ی یاخته‌ای سفت، بعضی‌ها رشته‌های نازک از یاخته به اسم ریسه تشکیل می‌دهند. که درصورت رشد آن‌ها با همدیگر یک حجم قابل رؤیت را تشکیل می‌دهند.

furrow irrigation - آبیاری جویچه‌ای : به irrigation methods مراجعه کنید.

furrow slice – طبقه‌ی شخم : بالاترین لایه‌ی یک خاک زراعی تا عمق شخم اولیه، لایه‌ی خاک از بقیه‌ی خاکرخ به‌وسیله‌ی گاوآهن برگردان‌دار جدا می‌شود.

gamma ray - اشعه‌ی گاما : یک اشعه پرانرژی (فوتون) که در اثنای تجزیه موند پرتوزا یک عنصر خاص آزاد می‌شود.

Gelisols - خاک‌های یخبندان دایم : به soil classification مراجعه کنید.

gellic materials - مواد یخ‌بندان دایم : مواد معدنی و آلی خاک که دارای گردش یخ در خاکرخ و یا یخ در شکل عدسی‌ها، رگه‌ها و گوه‌ها می‌باشند.

genesis soil - تکوین خاک : چگونگی تکوین خاک باتوجه خاص به فرایندهای مسوول تکامل سولوم و یا خاک واقعی از مواد مادری ناپیوسته،

genetic horizon - افق توارثی : لایه‌های خاک که از فرایندهای خاک‌سازی (پدوژنز) حاصل شده‌اند، و با رسوب‌گذاری و سایر فرایندهای زمین شناخت متفاوت می‌باشند.

geological erosion - فرسایش زمین‌شناختی به natural و erosion مراجعه کنید.

gibbsite , $Al(OH)_3$ - گیبسیت : یک کانی دارای هیدراکسید آلومینیوم، که در خاک‌های خیلی هوازده مانند اکسی‌سول‌ها فراوان می‌باشد.

gilgai - گیلگای : پستی و بلندی جزیی که در اثر انقباض و انبساط با تغییرات رطوبت بوجود می‌آید. در خاک‌هایی یافت می‌شود که دارای مقادیر زیادی رس بوده و با خشک و مرطوب‌شدن انقباض و انبساط قابل ملاحظه‌ای پیدا می‌کنند. معمولاً توالی ریزحوضچه‌ها و ریز برجستگی‌ها در اراضی تقریباً مسطح و یا ریزدره‌ها و ریزتپه‌ها موازی با مسیر شیب صورت می‌پذیرد.

glacial drift - مواد یخ‌رفت : خرده‌ریزهای سنگ‌ها که به‌وسیله‌ی یخچال‌ها چه مستقیم به‌وسیله‌ی حرکت یخ و یا به‌وسیله‌ی آب ذوب شده حمل شده و ترسیب می‌یابد. خرده‌ریزها ممکن است همسان و یا غیرهمسان باشند.

glacial till - یخ‌رفت غیرمتجانس : به till مراجعه کنند.

glaciofluvial deposits - رسوبات یخچال – رودخانه‌ای : موادی که به‌وسیله‌ی یخچال‌ها حرکت کرده و متعاقباً به‌وسیله‌ی رودخانه‌های جاری حاصل از ذوب یخ دست‌چین شده و رسوب می‌یابند. ممکن است رسوبات لایه‌بندی‌شده و به صورت دشت‌های فرسایشی – مصب‌ها، برجستگی‌های سنگ‌ریزه‌ای و تراس‌های سنگ و خاک مشاهده شوند.

gleyed - **نقاط احیایی** : شرایط خاک حاصل از اشباع طولانی با آب و شرایط احیایی که خود را به صورت رنگ‌های سبز و آبی در سراسر توده‌ی خاک و یا در رگه‌ها نشان دهند.

glomalin - **همتافت قند و پروتیین** که به‌وسیله‌ی قارچ‌های مخصوص ترشح شده و سبب ایجاد یک سطح ریسه‌ای چسبنده می‌گردد. که به‌نظر می‌رسد سبب پایداری خاکدانه‌ها می‌شود.

FeOOH و goethite - **گوتیت** : کانی اکسید آهن زرد – قهوه‌ای که سبب رنگ قهوه‌ای در بسیاری از خاک‌ها می‌شود.

granular structure - **ساختمان خاکدانه‌ای** : ساختمان خاک که در آن ذرات انفرادی به‌صورت خاکدانه‌های کروی با سطوح غیرمشخص گردهم آمده‌اند، به خاکدانه‌های خیلی متخلخل crumb گفته می‌شود. یک خاک با ساختمان خاکدانه‌های خوب دارای بهترین ساختمان برای اکثر گیاهان زراعی می‌باشد. به soil structure types مراجعه کنند.

granulation - **خاکدانه‌سازی** : فرایند تولید مواد خاکدانه‌ای، این واژه معمولاً در تشکیل خاکدانه‌های ساختمانی به کار می‌رود، اما در فرایندهای ایجاد گرددانه‌ها از کودهای گردی نیز به‌کار می‌رود.

grassed waterway - **آبراهه چمنی** : آبراهه طبیعی و یا ایجاد شده که به‌وسیله‌ی چمن‌های مقاوم به فرسایش پوشش یافته است و امکان تخلیه رواناب را بدون ایجاد فرسایش زیاد فراهم می‌سازد.

gravitational potential - **پتانسیل ثقلی** : به soil water potential مراجعه کنید.

gravitational water - **آب ثقلی** : آبی که به داخل، در داخل و یا به خارج خاک در اثر تأثیر ثقل حرکت می‌کند.

great group - **گروه بزرگ خاک** : به soil classification مراجعه کنید.

greenhouse effect - **اثرات گلخانه‌ای** : محبوس‌کردن حرارت به‌وسیله‌ی گازهای نیوار فوقانی مانند گاز کربنیک، بخار آب و متان، درست همانند شیشه که گرما را در یک گلخانه حبس می‌کند. به‌نظر می‌رسد افزایش مقادیر این گازها در نیوار سبب گرم‌شدن کره‌ی زمین گردیده و ممکن است اثرات زیانباری را برای انسان داشته باشد.

green manure - **کود سبز** : مواد گیاهی که هنگام سبزبودن، و یا بلافاصله پس از رشد کامل برای اصلاح خاک با خاک مخلوط می‌شوند.

ground water - **آب زیرزمینی** : آب زیرزمینی در منطقه‌ی اشباع که آزادانه در اثر نیروی ثقل معمولاً به‌طور افقی به آبراهه رودخانه حرکت می‌کند.

gully erosion - **فرسایش خندقی** : به فرسایش مراجعه کنید.

gypsic horizon - **افق جیپسیک** : به diagnostic subsurface horizon مراجعه کنید.

gypsum requirement - **گچ مورد نیاز** : مقدار گچ مورد نیاز برای کاهش سدیم قابل تبادل به یک سطح قابل قبول در یک خاک

halophyte - **گیاه نمک‌دوست** : گیاهی که نیازمند نمک بوده و یا بتواند یک محیط شور (دارای نمک زیاد) را تحمل کند.

hard pan - **سخت کفه** : یک لایه‌ی سخت در قسمت زیرین افق A و یا در افق B که براثر سیمانی‌شدن ذرات خاک به‌وسیله‌ی ماده‌ی آلی و یا موادی مانند سیلیس، اکسیدها، و یا کربنات کلسیم ایجاد شده باشد. سخت کفه‌ها در اثر تغییرات در میزان رطوبت خیلی زیاد تغییر نمی‌یابند. قطعات آن‌ها در آب وا نمی‌روند. caliche , claypan را نیز مشاهده کنند.

harrowing - **دندانه زدن** : عملیات شخم ثانویه‌ی سطحی که سبب خردشدن، صاف‌شدن و سفت‌شدن خاک برای تهیه بستر بذر می‌شود، سبب مبارزه با گیاهان هرز و یا مخلوط‌کردن مواد پخش شده در سطح با خاک می‌شود.

heaving - **ورآمدن** : بلندکردن نسبی گیاهان، ساختمان‌ها، جاده‌ها، تیرهای حصارکشی و غیره به خارج از سطح زمین در نتیجه یخ زدن و ذوب‌شدن خاک سطحی در طول زمستان.

heavy metals - **فلزات سنگین** : فلزاتی که دارای وزن مخصوص بیشتر از ۵ مگاگرم در متر مکعب و یا بیشتر می‌باشند. عناصر سنگین خاک عبارتند از Cr, Co, Cd Zn, Pb, Mo, Mn, Hg, Fe, Cu

heavy soil - (واژه‌ی فراموش‌شده در کاربرد علمی) **خاک سنگین**: خاکی که دارای مقدار زیادی اجزاء ریز مخصوصاً رس بوده، و یا خاکی که نیازمند نیروی کشش زیاد بوده و شخم زدن آن مشکل است.

hematite, Fe_2O_3 - **هماتیت** : یک کانی اکسید آهن که سبب ایجاد رنگ قرمز در بسیاری از خاک‌ها می‌شود.

herbicide - **علفکش**: یک ماده‌ی شیمیایی که سبب نابودی گیاهان و یا ممانعت از رشد آن‌ها می‌شود. موادی که به منظور مبارزه با گیاهان هرز مصرف می‌شوند.

herbivore – گیاه‌خوار : به حیوان گیاه‌خوار گفته می‌شود.

heterotroph- ناخودپرور: موجوداتی که انرژی فرایندهای حیاتی خود را تنها از تجزیه‌ی ترکیبات آلی به‌دست آورده و قادر نمی‌باشند ترکیبات معدنی را به عنوان تنها منبع انرژی برای بازسازی مواد آلی مورد استفاده قرار دهند. مخالف واژه autotroph است.

Histosols – هیستوسول: به soil classification مراجعه کنید.

histic epipedon - افق هیستیک: به diagnostic surface horizons مراجعه کنید.

horizon,soil - افق خاک: لایه‌ای از خاک، که تقریباً موازی سطح خاک بوده و از نظر خصوصیات و خواص با لایه‌های مجاور بالایی و زیرین متفاوت می‌باشد. به diagnostic subsurface horizons و diagnostic surface horizons نیز مراجعه کنید.

horticulture - باغبانی : هنر و دانش کاشت میوه‌ها، سبزی‌ها و گیاهان زینتی.

hue (color) - زمینه رنگ : به نظام Munsell color system مراجعه کنید.

humic acid - اسید هومیک : مخلوطی از ترکیبات نامشخص و یا متغیر مواد تیره‌ی آلی که در اسیدی‌کردن عصاره‌ی اشباعی خاک با مواد قلیایی رقیق ته‌نشین می‌شود.

humic substances - مواد هومیکی : مجموعه‌ای از مواد آلی دارای رنگ قهوه‌ای تا تیره با وزن مولکولی نسبتاً بالا که حدود ۶۰ تا ۸۰ درصد ماده‌ی آلی خاک را شامل شده و در مقابل حمله میکروبی کاملاً مقاوم است.

humid climate - اقلیم مرطوب : آب و هوای مناطقی که رطوبت به طور معمول در سراسر سال توزیع‌یافته، و سبب محدودیت تولید محصولات نمی‌شود. در مناطق خنک بارندگی سالانه تا میزان ۲۵ سانتی‌متر تقلیل یافته و در مناطق گرم به ۱۵۰ سانتی‌متر و یا بیشتر برسد. پوشش طبیعی در اراضی کشت‌نشده به صورت جنگل است.

humification - هوموسی‌شدن : فرایندی که سبب تجزیه‌شدن ماده‌ی آلی و تشکیل هوموس می‌گردد.

humin - هومین : بخشی از ماده‌ی آلی که در عصاره‌گیری خاک با مواد قلیایی رقیق در آن حل نمی‌شوند.

humus - هوموس : آن بخش کم‌وبیش پایدار ماده‌ی آلی که پس از تجزیه بخش اعظم پس‌مانده‌های گیاهی و جانوری باقی می‌ماند معمولاً رنگ هوموس تیره می‌باشد.

hydration - آبگیری : به پیوستگی شیمیایی بین یک ین و یا ترکیب با یک و یا چند مولکول آب اطلاق می‌شود. واکنش در اثر جذب ین و یا ترکیب به‌وسیله‌ی هیدروژن و یا الکترون‌های غیرمشترک اتم اکسیژن تقویت می‌شود.

hydrualic conductivity – هدایت آبی : به سهولت عبور یک مایع مانند آب در داخل یک جامد مانند خاک در عکس‌العمل به شیب پتانسیل اطلاق می‌گردد.

hydric soils - خاک‌های مرطوب : خاک‌های که مدت‌های طولانی از آب اشباع بوده به‌طوری‌که سبب ایجاد شرایط احیا گردیده و در رشد گیاهان تأثیر داشته باشد.

hydrogen bonding - پیوند هیدروژنی : پیوندی با انرژی نسبتاً کم که به‌وسیله‌ی اتم هیدروژن واقع در بین اتم‌های الکترونگایف شدید مانند نیتروژن و اکسیژن به نمایش گذاشته می‌شود.

hydrologic cycle – چرخه‌ی آبی : چرخه‌ی حرکت آب از نیوار به خاک و از خاک به نیوار از طریق فرایندهای مختلف مانند بارندگی، برگاب، رواناب، نفوذ سطحی، فرونشست، ذخیره، تبخیروتعرق می‌باشد.

hydrolysis - آبکافت : به واکنش آب بایک ترکیب (معمولاً یک نمک) اطلاق می‌شود. هیدراکسیل آب با کاتیون ترکیب و در اثر آبکافت تشکیل یک باز می‌دهد، و ین هیدروژن آب با آنیون ترکیب و یک اسید را به‌وجود می‌آورد.

hydronium - ین هیدروژن آبدار شده (H_3O^+) : شکل ین هیدروژن که معمولاً در یک نظام آبی موجود است.

hydroponics – هیدروپونیک(آب‌کشتی) : نظام تولید گیاهان که از محلول غذایی به جای محیط جامد برای رشد گیاهان استفاده می‌کند.

hydrous mica - میکای آب‌دار : به fine – grained mica مراجعه کنید.

hydroxyapatite - هیدراکسی اپاتیت : عضوی از کانی‌های اپاتیت که از گروه‌های هیدراکسیل غنی است. فسفات کلسیم تقریباً غیرمحلول.

hygroscopic coeficient - ضریب هیگروسکوپیک(ضریب نم‌گیری) : مقدار رطوبت در یک خاک خشک وقتی که با رطوبت نسبی استاندارد در نزدیکی اشباع (حدود ۹۸درصد) در تعادل می‌باشد. این مقدار رطوبت برحسب درصد وزن خشک کوره بیان می‌شود.

hyperthermic –بسیار کم: به soil temperature classes مراجعه کنید.

hypha (hyphae) – ریسه: یاخته‌ای قارچ‌ها، اکتینومیست‌ها نیز یاخته‌های رشته‌ای مشابه اما نازک‌ترتولید می‌کنند.

hystersis – پس ماند : رابطه بین دو متغیر که بنابر ترتیب آن‌ها یا نقطه شروع تغییر می‌کند. نمونه رابطه‌ی بین رطوبت خاک با پتانسیل آب است که در آن منحنی‌های مختلف رابطه بین خاکی را که آب دریافت می‌دارد و خاکی را که آب از دست می‌دهد، تشریح می‌کند.

igneous rock – سنگ آذرین : سنگی که از سردشدن و سخت‌شدن مواد مذاب تشکیل شده، و از بدو تشکیل تا حال به‌طور قابل ملاحظه‌ای تغییر نیافته است.

illite – میکای بافت ریز : به fine-grained mica مراجعه کنید.

illuvial horizon – افق انباشته : لایه یا افقی از خاک که در آن مواد حمل شده از یک لایه فوقانی در محلول رسوب یافته و یا از محلول معلق ته‌نشین شده است. لایه‌ی تجمع مواد.

immature soil – خاک نارس : خاکی با لایه‌های غیرقابل تمایز و یا اندک تکامل یافته به خاطر زمان کوتاهی که در معرض فرایندهای مختلف تشکیل خاک قرار گرفته است. خاکی که با پیرامون خود به تعادل نرسیده است.

immobilization – عدم تحرک : تبدیل یک عامل از شکل معدنی به شکل آلی در بافت‌های میکروبی و یا گیاهی، به‌طوری‌که عنصر برای سایر موجودات و گیاهان غیرقابل استفاده گردد.

imogolite – یک کانی آلومینوسیلیکات با ساختمان بلوری ضعیف با فرمول تقریبی $S_iO_2Al_2O_3.2.5H_2O$، این کانی در خاک‌های حاصل از خاکسترهای آتشفشانی یافت می‌شود.

impervious – غیرقابل نفوذ : مقاومت در مقابل دخول مایعات و یا ریشه‌ی نباتات

Inceptisols – به soil classification مراجعه کنید.

indurated (soil) – مواد سخت شده : مواد خاکی که به‌صورت یک توده سخت سیمانی درآمده و با خیس‌شدن نرم نمی‌شوند به consistence و hardpan مراجعه کنید.

infiltration – نفوذ آب : ورود رو به پایین آب در داخل خاک

infiltration capacity – گنجایش نفوذ : خصوصیت خاک که بیانگر بیشینه‌ی مقداری است که آب می‌تواند تحت شرایط خاص، از جمله وجود آب اضافی وارد خاک شود.

inoculation — تلقیح، مایه زدن : فرایند افزودن ریزجانداران خالص و یا مخلوط به داخل محیط کشت طبیعی و یا مصنوعی

inorganic compounds – ترکیبات غیرآلی (معدنی) : ترکیبات شیمیایی موجود در طبیعت به‌استثنای ترکیبات کربن‌دار غیراز منواکسید کربن، گازکربنیک و کربنات‌ها

insecticide – حشره‌کش : ترکیب شیمیایی که سبب نابودی حشرات می‌شود.

intergrade – بینابین : خاکی که دارای خصوصیات قابل تشخیص نسبتاً تکامل یافته دو یا چند گروه بزرگ خاک مربوط به هم از نظر توارثی باشد.

interlayer – بین لایه‌ای (کانی‌شناسی): مواد موجود در بین لایه‌های داخل یک بلور مورد نظر، که شامل کاتیون‌ها، کاتیون‌های آب‌دار، مولکول‌های آلی و گروه‌ها یا لایه‌های هیدرواکسید باشد.

internal surface – سطح داخلی : سطح آشکار شده در داخل یک بلور و یا میسل رسی بین لایه‌های جداگانه. با external surface مقایسه کنند.

ions – یون‌ها: اتم‌ها، گروه‌های اتم‌ها و یا ترکیباتی که در اثر از دست‌دادن الکترون‌ها (کاتیون‌ها) و یا به‌دست‌آوردن الکترون‌ها (آنیون‌ها) باردار شده‌اند.

iron pan – سخت کفه‌ی آهنی: افق سخت‌شده خاک که در آن اکسیدآهن عامل اصلی سیمانی‌کردن می‌باشد.

irrigation efficiency – بازده آبیاری : نسبت آب مصرف شده واقعی به‌وسیله‌ی نبات در یک قطعه‌ی تحت آبیاری به مقدار آب توزیع شده از منبع آبیاری در آن قطعه اطلاق می‌شود.

irrigation methods – روش‌های آبیاری : روش‌هایی که به‌وسیله‌ی آن آب به‌طور مصنوعی در یک منطقه مورد استعمال قرار می‌گیرد روش‌ها و شیوه‌های استعمال آب به‌شرح زیر می‌باشند:

border strip – آبیاری نواری: آب در بخش بالایی نوار که دارای مرزهای خاکی برای محبوس نمودن آب است توزیع می‌گردد.

center pivot - نظام آبیاری بارانی دورانی : آبیاری بارانی خودکار که با گردش بازو و یا لوله آبیاری، در حول نقطه مرکزی انجام می‌شود و آب را به سر آب‌پاش‌ها و یا آبفشان‌ها از مرکز مزرعه تحت آبیاری عرضه می‌کند.

check - basin - آبیاری کرتی : آب با سرعت به کرت‌های نسبتاً مسطح که به‌وسیله‌ی گوره‌هایی محصور شده‌اند وارد می‌شود حوضچه یک مانع کوچک است.

corrugation - آبیاری شیاری : آب درنشتی‌های کوچک نزدیک به هم معمولاً در غلات و گیاهان علوفه‌ای استعمال می‌شود تا جریان آب آبیاری در یک جهت معطوف گردد.

drip - آبیاری قطره‌ای : یک نظام آبیاری طراحی شده که در ان تمام تمهیدات برای استعمال آب آبیاری مستقیماً به منطقه‌ی ریشه گیاهان به‌طور کارا با استفاده از ادوات توزیع (روزنه، قطره‌چکان‌ها، لوله‌های متخلخل و یا لوله‌های مشبک و غیره) با فشار اندک به‌عمل آمده است. ادوات توزیع ممکن است در رو و یا زیر سطح زمین جایگذاری شده باشند.

flooding - آبیاری غرقابی : آب از نهرها رها شده و امکان می‌یابد که سطح زمین را غرقاب کند.

furrow – آبیاری جویچه‌ای: آب در کشت‌های ردیفی در نهرهایی که به‌وسیله‌ی ادوات خاک‌ورزی ایجاد شده‌اند توزیع می‌شود.

sprinkler – آبیاری بارانی : آب از طریق آبفشان‌ها از یک نظام تحت فشار به‌صورت افشان توزیع می‌گردد.

subirrigation - آبیاری زیرزمینی : آب از نهرهای باز و یا تنبوشه‌ها استعمال می‌شوند تا اینکه سطح آب زیرزمینی به مقدار کافی برای مرطوب‌کردن خاک بالا آید.

wild-flooding - سیلابی : آب از نقطه‌های مرتفع در مزرعه رهاشده و توزیع آن تحت مدیریت نمی‌باشد.

interstratification – میان لایه‌بندی: مخلوط‌شدن لایه‌های سیلیکاتی در چهارچوب ساختمانی یک رس سیلیکاتی

isomorphous substitution – جانشینی همشکل: جایگزینی یک اتم به‌وسیله‌ی اتم هم اندازه آن در یک لایه بلوری بدون اینکه سبب به‌هم‌ریختن و یا تغییر ساختمان بلوری کانی گردد.

isotopes - ایزوتوپ : دو یا چند اتم از همان عنصر که دارای جرم‌های اتمی متفاوت به خاطر تعداد نوترون‌های متفاوت در هسته آن‌ها می‌باشند.

joule - ژول : واحد انرژی در نظام SI که عبارت است از نیروی ۱ نیوتن که در فاصله یک متر اعمال می‌شود. هر ژول ۰/۲۳۹ کالری است.

kame – پشته‌ی یخچالی : یک تپه و یا برجستگی مخروطی شن و سنگ‌ریزه که در تماس با یخ یخچال‌ها رسوب یافته‌اند.

kaolinite - کائولینیت : یک کانی بلوری آلومینوسیلیکات با گروه لایه‌ای ۱:۱ که از یک صفحه سیلیس چهاروجهی در تناوب با یک صفحه آلومینیوم ۸ وجهی تشکیل شده است.

labile - ناپایدار : یک ماده که به سهولت به‌وسیله‌ی ریزجانداران تغییرشکل یافته و یا برای جذب به‌وسیله‌ی گیاهان به راحتی قابل استفاده می‌باشد.

lacustrine deposit – ته‌نشست‌های دریاچه‌ای : موادی که در اب دریاچه ته‌نشین شده و بعدها با پایین رفتن سطح آب و یا بالاآمدن سطح زمین آشکار شده‌اند.

land - اراضی : یک واژه‌ی وسیع دربرگیرنده تمام محیط طبیعی مناطقی از زمین که به‌وسیله‌ی آب پوشیده نشده باشند. علاوه بر خاک، شامل سایر شرایط فیزیکی، مانند تهشته‌ی کانی‌ها و منابع آب؛ موقعیت در رابطه با مراکز تجاری، جمعیت، و سایر اراضی؛ اندازه قطعات مالکیت‌ها؛ و پوشش گیاهی موجود، عملیات اصلاحی، و غیره می‌باشد.

land capability classification - طبقه‌بندی قابلیت اراضی : گروه‌بندی انواع خاک‌ها در واحدهای خاص، زیرکلاس‌ها و کلاس‌ها براساس قابلیت آن‌ها برای استفاده‌ی پرنهاده و اصلاح لازم برای استفاده پایدار از آن‌ها می‌باشد. یکی از این نظام‌ها به‌وسیله‌ی سازمان حفاظت منابع طبیعی وزارت کشاورزی آمریکا تهیه شده است.

land classification – طبقه‌بندی اراضی: تنظیم واحدهای اراضی در دسته‌بندی‌های مختلف براساس خصوصیات اراضی و تناسب آن‌ها برای منظورهای خاص

land forming – شکل‌دادن زمین : شکل دادن سطح زمین به‌وسیله‌ی تراشیدن نقطه‌های بلند و پرکردن نقطه‌های پایین با ماشین‌آلات دقیق تسطیح برای ایجاد یک شیب یکنواخت هموار اغلب به‌منظور انجام آبیاری. به آن هموارکردن اراضی نیز اطلاق می‌شود.

land use planning - طراحی کاربری اراضی، آمایش سرزمین: ارائه‌ی طرح‌هایی برای استفاده از اراضی که در درازمدت بهترین خدمت به رفاه عمومی بوده، به اضافه‌ی برنامه‌ریزی راه‌ها و وسایل دست‌یابی به این استفاده‌ها می‌باشد.

laterite - لاتریت : یک لایه‌ی زیر سطحی غنی از آهن که در بعضی خاک‌های خیلی هوازده‌ی مناطق گرمسیر مرطوب یافت شده و درصورت مواجه‌شدن با هوا و خشک‌شدن بسیار سخت شده و با مرطوب‌کردن مجدد دیگر نرم نمی‌شود. وقتی فرسایش لایه‌های رویی را جدا می‌کند، لاتریت آشکار شده و یک سنگ‌فرش واقعی حاصل می‌گردد. به **plinthite** نیز مراجعه کنید.

layer (کانی شناسی رس)- **لایه** : ترکیبی از صفحات (چهار وجهی و ۸ وجهی) در رس‌های سیلیکاتی در آرایش ۱:۱، ۲:۱ و ۲:۱:۱

leaching - آبشویی: خارج‌کردن مواد از محلول خاک به‌وسیله‌ی فرونشست آب. به **eluviation** نیز مراجعه کنید.

leaching requirement - نیاز آبشویی: بخشی از آب آبیاری مورد نیاز برای آبشویی و ممانعت از افزایش شوری تا حد قابل تحمل زراعتی که باید کشت گردد.

legume - گیاه نیامدار : اعضای نیام‌دار از خانواده لگومینوزه، یکی از مهم‌ترین و گسترده‌ترین خانواده گیاهی که شامل بسیاری از گونه‌های باارزش غذایی و علوفه‌ای مانند نخود، لوبیا، بادام زمینی، شبدر، یونجه، شبدر شیرین، لپیدزیا، خلر و کودزو می‌باشد. تقریباً تمام نیامداران با موجودات تثبیت‌کننده نیتروژن همکار می‌باشند.

lichen - گلسنگ : رابطه‌ی همزیستی بین قارچ و سیانوباکتری (جلبک‌های آبی- سبز) می‌باشد که سبب ایجاد کلنی‌ها در کانی‌ها و سنگ‌های لخت می‌شود. قارچ آب و عناصر غذایی تأمین کرده و سیانوباکتری سبب تثبیت نیتروژن و تهیه کربوهیدرات از فرایند سوخت‌وساز نوری می‌شود.

Liebig's law - قانون لیبگ : رشد و تکثیر هر موجود زنده به‌وسیله‌ی عناصر غذایی (اکسیژن، کربن، گازکربنیک، کلسیم وغیره) که در کمترین مقدار در رابطه با نیاز آن موجود است مشخص می‌شود، به **limiting factor** مراجعه کنید.

light soil - (واژه‌ی فراموش‌شده) **خاک سبک** : یک خاک بافت درشت، خاکی با نیروی کششی لازم اندک برای شخم زدن. به **coarse texure** و **texture** مراجعه کنید.

lime - (کشاورزی)، **آهک** : در واژه‌ی صریح شیمیایی، اکسید کلسیم است. در واژه‌ی عملی ماده‌ای که شامل کربنات‌ها، اکسیدها و یا هیدرواکسیدهای کلسیم و یا منیزیم بوده و برای خنثی‌کردن اسیدیته خاک به کار می‌روند.

lime requirement - نیاز آهک: جرم آهک کشاورزی و یا معادل آن از سایر مواد خاص آهک‌دادن، که برای بالاآوردن pH خاک به مقدار موردنظر در شرایط مزرعه لازم می‌باشد.

limestone - سنگ آهک : یک سنگ رسوبی که عمدتاً از کانی کلسیت ($CaCO_3$) ترکیب یافته است. اگر کانی دولومیت ($CaCO_3$, $MgCO_3$) در مقادیر قابل ملاحظه موجود باشد به آن سنگ آهک دولومیتی گفته می‌شود.

limiting factor - عامل محدودکننده : به **Liebig's law** مراجعه کنید.

liquid limit - حد سیلان : به **Atterberg limit** مراجعه کنید.

lithosequence - خاک ردیف سنگی: گروهی از خاک‌های مربوطه که از نظر بعضی از خصوصیات خاص عمدتاً ناشی از مواد مادری به‌عنوان عامل خاک‌سازی از همدیگر متفاوت می‌باشند.

loam - لوم : نام بافت خاک که دارای مقادیر متوسط شن، لای و رس می‌باشد. خاک‌های لومی دارای ۲۷-۷ درصد رس، ۲۸تا ۵۰ درصد لای و ۲۳ تا ۵۲ درصد شن می‌باشند.

loamy - لومی : خاکی که دارای بافت و خصوصیات حد واسط بین خاک‌های بافت ریز و بافت درشت می‌باشد. شامل تمام کلاس‌های بافت دارای کلمه لوم و یا لومی در بخشی از نام کلاس می‌باشند، مانند کلی لوم، لومی سند می‌باشند به **loam** و **soil texture** نیز مراجعه کنید.

lodging - ورس : واژگون‌شدن نبات چه براثر بیرون‌آمدن ریشه و چه براثر شکستن ساقه

loess - لس : موادی‌که به‌وسیله‌ی باد حمل و رسوب یافته است و ذرات در اندازه لای در آن‌ها غالب می‌باشد.

luxury consumption - جذب تجملی : میزان جذب عناصر غذایی بوسیله‌ی نبات بیشتر از مقدار مورد نیاز آن، برای مثال اگر پتاسیم در خاک زیاد باشد ممکن است یونجه از میزان مورد نیاز خود پتاسیم بیشتری جذب کند.

lysimeter - لیسیمتر : وسیله‌ای برای اندازه‌گیری هدر رفت میزان فرونشست (آبشویی) و تبخیرتعرق از یک ستون خاک در شرایط تحت نظر

macronutrent - عنصر پرمصرف : یک ماده‌ی شیمیایی که در مقادیر زیاد (معمولاً ۵۰ میلی‌گرم‌درکیلوگرم نبات) برای رشد نبات موردنیاز می‌باشد. شامل C, H, O, N, P, K, Ca, Mg و S . (ماکرو به مقدار مصرف شده اشاره دارد نه به اساسی‌بودن عنصر) به **micronutrient** نیز مراجعه کنید.

macropores - بزرگ منافذ : منافذی که معمولاً دارای قطر بیشتر از ۰/۰۶ میلی‌متر بوده و آب به آسانی از داخل آن‌ها براثر گرانش زه‌کشی می‌شود.

marl – **آهک رس** : کربنات کلسیم نرم سفت نشده، معمولاً با مقادیر مختلف رس و سایر ناخالصی‌ها مخلوط است.

marsh – **مرداب** : مناطقی که به‌طور دوره‌ای مرطوب بوده و یا به‌طور مداوم غرقاب می‌گردند. سطح آن‌ها خیلی زیاد به زیر آب نمی‌رود. اغلب به‌وسیله‌ی جگن، لولی، نی و یا سایر گیاهان آب‌دوست پوشیده شده است. زیرکلاس‌های آن عبارتست از مانداب‌های شیرین و یا شور.

mass flow – **جریان توده‌ای** : حرکت عناصر غذایی همراه با جریان آب به ریشه‌های نباتات

matric potetial – **پتانسیل ماتریک** : به soil water potential مراجعه کنید.

mature soil – **خاک بالغ** : خاکی با افق‌های کاملاً تکامل یافته براثر فرایندهای طبیعی خاک‌سازی و در تعادل با محیط فعلی خود

maximum retentive capacity – **بیشینه‌ی ظرفیت نگهداری** : میزان رطوبت متوسط یک نمونه‌ی به‌هم خورده‌ی خاک دارای یک سانتی‌متر ارتفاع که در تعادل با سفره‌ی آب در سطح پایین خود می‌باشد.

mechanical analysis – (واژه‌ی فراموش‌شده) **تجزیه‌ی مکانیکی** : به particle size analysis و particle size distribution مراجعه کنید.

medium texture – **بافت متوسط** : بافت (خاک) در حد واسط بافت ریز و بافت درشت که شامل کلاس‌های بافت به‌شرح زیر می‌باشد: شنی‌لوم‌ریز، لوم، لوم سیلتی و سیلت.

melanic epipedon – **افق سطحی ملانیک** : به diagnostic surface horizon مراجعه کنید.

mellow soil – **خاک نرم** : خاک بسیار نرم، بسیار ترد متخلل بدون هر تمایلی به سخت‌شدن و سفت‌شدن به consistence مراجعه کنید.

mesic – **مزیک** : به soil temperature classes مراجعه کنید.

mesofauna – **میان زیاگان**: حیوانات با اندازه متوسط تقریباً با قطر بین ۲ و ۰/۲ میلی‌متر

metamorphic rock – **سنگ دگرگونی** : سنگی که نسبت به شرایط قبلی خود براثر عمل مشترک حرارت و فشار بسیار تغییر یافته است. برای نمونه مرمر یک سنگ دگرگونی است که از سنگ آهک تشکیل شده است، گنیس از گرانیت و اسلیت از شیل تشکیل شده است.

methane , CH_4 – **متان**: یک گاز بدون رنگ و بو که معمولاً در شرایط غیرهوازی ایجاد می‌شود. درصورت رهاشدن در نیوار فوقانی متان سبب گرم‌شدن کره‌ی زمین می‌گردد. به greenhouse effect مراجعه کنید.

micas – **میکاها** : کانی‌های آلومینوسیلیکات اولیه که درآن‌ها دو صفحه سیلیس چهاروجهی در تناوب با یک صفحه آلومینیوم و یا منیزیم ۸ وجهی قرار گرفته است. آن‌ها به سهولت در صفحات آشکار و یا پوسته‌هایی از همدیگر جدا می‌شوند.

microfauna – **ریززیاگان** : بخشی از جمعیت جانوری که شامل افرادی بسیار ریز بوده و بدون میکروسکوپ با وضوح دیده نمی‌شوند. شامل تک‌یاخته‌گان و نماتدها می‌باشد.

micronutrient – **عناصر کم‌مصرف** : یک عنصر شیمیایی که در مقادیر بسیار اندک (کمتر از ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم در بافت نبات) مورد نیاز رشد نبات می‌باشند نمونه‌ها شامل B، Cl، Cu، Fe، Mn و Zn می‌باشد (Micro به مقدار مصرف شده اشاره دارد نه به اساسی‌بودن عنصر). به macronutrient مراجعه کنید.

micropores – **ریزمنافذ** : منافذ نسبتاً کوچک خاک که معمولاً در داخل خاکدانه‌های ساختمانی وجود دارد و دارای قطر کمتر از ۰/۰۶ میلی‌متر می‌باشد، مغایر macropore می‌باشد.

microrelief – **ریزناهمواری**: اختلاف جزیی در پستی و بلندی محلی شامل برجستگی‌ها، گودی‌ها و چاله‌ها که فقط دارای قطر ۱ متر و یا کمتر و اختلاف ارتفاع تا ۲ متر می‌باشد به gilgai مراجعه کنید.

mineralization – **معدنی‌شدن** : تبدیل یک عنصر از شکل آلی آن به شکل معدنی در نتیجه تجزیه میکروبی

mineral Soil – **خام معدنی** : خاکی که عمدتاً از مواد معدنی تشکیل شده و خصوصیات آن به‌وسیله‌ی مواد معدنی مشخص می‌شود و معمولاً دارای کمتر از ۲۰ درصد ماده‌ی آلی بوده اما ممکن است دارای یک لایه‌ی آلی سطحی تا عمق ۳۰ سانتی‌متر باشد.

minimum tillage – **کمینه خاک‌ورزی** : به conservation , tillage مراجعه کنید.

minor element –(واژه‌ی فراموش‌شده) **عنصر فرعی** : به micronutrients مراجعه کنید.

moderately coarse texture – **بافت نسبتاً درشت** : عمدتاً شامل ذرات درشت می‌باشد. در طبقه‌بندی بافت خاک شامل لوم‌شنی‌ها به‌استثنای لوم شنی خیلی ریز می‌باشد. به coarse texture نیز مراجعه کنید.

moderately fine texture – **بافت نسبتاً ریز** : عمدتاً شامل ذرات در اندازه‌ی متوسط می‌باشد و یا دارای مقادیر نسبتاً کم ذرات درشت می‌باشد. در طبقه‌بندی بافت خاک شامل لوم‌رسی، لوم‌شنی، لوم‌رسی‌شنی و لوم‌رسی سیلتی می‌باشد. به fine texture نیز مراجعه کنید.

moisture equivalent – (واژه‌ی فراموش‌شده) **رطوبت معادل** : درصد وزنی آب نگهداری شده به‌وسیله‌ی یک نمونه‌ی از قبل اشباع شده با ضخامت ۱ سانتی‌متر بعد از قرارگرفتن تحت نیروی گریز از مرکز ۱۰۰۰ برابر نیروی ثقل برای ۳۰ دقیقه.

moisture potential – **پتانسیل رطوبت** : به soil water potential مراجعه کنید.

mole drain – **زه‌کش لانه موشی** : زه‌کش بدون پوشش که با کشیدن یک استوانه‌ی گلوله‌ای شکل در داخل خاک ایجاد می‌شود.

mollic epipedon – **افق سطحی مولیک** : به diagnostic surface horizon مراجعه کنید.

Mollisols – **خاک‌های مولی‌سول** : به soil classification مراجعه کنید.

montmorillonite – **رس مونت‌موریلونیت** : کانی آلومینوسیلیکات رسی در گروه اسمکتیت با شبکه‌ی بلوری قابل انبساط ۲:۱ با دو لایه سیلیس چهاروجهی که یک صفحه آلومینیوم ۸ وجهی را در میان گرفته‌اند تشکیل شده است. جانشینی هم‌شکل منیزیم برای بعضی از اتم‌های آلومینیوم در صفحه ۸وجهی صورت می‌گیرد. ممکن است انبساط قابل ملاحظه‌ای به‌وسیله‌ی حرکت آب در بین صفحه‌های سیلیس در لایه‌های مجاور صورت گیرد.

mor – **هموس خام** : نوعی از هموس جنگلی که در آن مواد آلی مخلوط نشده است، معمولاً به‌صورت فرش مانند و یا متراکم و یا هر دو درآمده است. از خاک معدنی قابل تمیز است مگر این‌که خاک معدنی در اثر آبشویی‌شدن مواد آلی به‌داخل آن تیره شده باشد.

moraine – **مورن (یخرُفت)** : تجمع مواد یخرفت با پستی و بلندی اولیه مربوط به خود که در یک منطقه یخچالی عمدتاً به‌وسیله‌ی عمل مستقیم یخ ایجاد می‌شود نمونه‌ها شامل یخرفت‌های زمینی، جانبی، عقب‌نشینی و انتهایی می‌باشند.

morphology , soil – **مرفولوژی، خاک** : نظام و وضع طبیعی خاک شامل بافت، ساختمان، پایداری، رنگ و دیگر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی افق‌های مختلف خاک که خاکرخ ایجاد می‌کنند.

mottling – **رنگین دانه‌ها**: نقطه‌ها و لکه‌هایی با رنگ متفاوت و یا سایه‌های رنگ که در داخل رنگ غالب پراکنده شده باشد.

mucigel – **لعاب ریشه** : مواد ژلاتینی موجود در سطح ریشه‌ها در خاک ضدعفونی‌نشده

muck — **ماک، سیاه‌پوده** : مواد آلی شدیداً تجزیه شده که در آن بخش‌های اصلی نبات قابل تشخیص نبوده و درمقایسه با پیت دارای مواد معدنی بیشتر، و رنگ تیره‌تری می‌باشد. به peat , muck soil مراجعه کنید.

mulch – **مالچ، خاک‌پوش**: هر نوع موادی مانند کاه، خاک‌اره، برگ، لایه‌های پلاستیکی و خاک نرم که برروی سطح خاک برای محافظت خاک و ریشه نبات از اثرات قطرات باران، سله‌بندی، یخ‌زدن، تبخیر و غیره توزیع می‌شود.

mulch tillage – **خاک‌ورزی مالچ** : به conservation , tillage مراجعه کنید.

mull – **مول** : لایه غنی از هموس در خاک‌های جنگلی شامل مخلوط ماده‌ی آلی و مواد معدنی می‌باشد. مول با لایه‌های فوقانی خاک‌های معدنی بدون تغییر شدید در خصوصیات خاک مخلوط می‌شود.

Munsell color system – **نظام رنگ مونسل** : یک نظام تشخیص رنگ که میزان نسبی سه متغیر ساده‌ی رنگ را به‌شرح زیر مشخص می‌سازد:

Chroma – **کروما**: خلوص نسبی، قدرت و یا درجه اشباع یک رنگ.

Hue – **هیو**: درجه‌بندی رنگی (رنگین‌کمان) نوری که به چشم می‌رسد.

Valu – **ولیو**: درجه روشن‌بودن یا تیره‌بودن رنگ.

Mycelium – **توده‌ی ریسه** : توده نخ‌مانند از ریسه قارچ‌ها و یا اکتینومیسیت‌ها

Mycorrhiza – **قارچ – ریشه** : همکاری، معمولاً به‌صورت همزیستی بین قارچ‌ها با ریشه‌ی گیاهان. به vesicular arbuscular mycorrihza , endotrophic mycorrihza مراجعه کنید.

natric horizon – **افق ناتریک** : به diagnostic subsurface horizon مراجعه کنید.

necrosis – **بافت‌مردگی** : مرگ همراه با بی‌رنگ‌شدن و خشک‌شدن تمام یا قسمتی از اندام نبات مانند برگ‌ها.

nematodes – **نماتدها** : کرم‌های بسیار کوچک که در بسیاری از خاک‌ها فراوان بوده و به‌خاطر حمله و از بین‌رفتن ریشه گیاهان به‌وسیله‌ی بعضی از آن‌ها مهم می‌باشند.

neutral soil- خاک خنثی : خاکی که لایه سطحی آن حداقل تا عمق معمول شخم از نظر واکنش اسیدی، و بازی نمی‌باشد.در عمل این به معنی آن است که خاک دارای‌pH ۷/۳ – ۶/۶ است. به alkaline soil ؛ acid soil ؛ reaction, soil مراجعه کنید.

nitrate depression period – دوره‌ی کسادی نیترات : دوره‌ی زمانی که به زودی پس از افزودن موادآلی تازه دارای کربن زیاد به خاک آغاز می‌شود، طی آن ریزجانداران تجزیه‌کننده، اکثر نیتروژن قابل استفاده را از محلول خاک برداشت می‌کنند.

nitrification - نیتراتی‌شدن : اکسایش زیست‌شیمیایی آمونیوم به نیترات که اغلب به‌وسیله‌ی باکتری‌های اتوتروف انجام می‌شود.

nitrogen assimilation- جذب و هضم نیتروژن : شرکت دادن نیتروژن در مواد یاخته‌ای آلی به‌وسیله‌ی موجودات زنده.

nitrogen cycle - چرخه‌ی نیتروژن : توالی تغییرات شیمیایی و زیستی نیتروژن در حرکت آن از نیوار به داخل آب، خاک و موجودات زنده که پس‌از مرگ این موجودات (گیاهان و جانوران) از طریق بخشی و یا تمام فرایند در بازچرخ قرار می‌گیرند.

nitrogen fixation - تثبیت نیتروژن: تبدیل زیستی نیتروژن عنصری (N_2) به ترکیبات اشکالی آلی که در فرایندهای زیستی به آسانی قابل‌استفاده می‌باشند.

nodule bacteria- باکتری‌های تشکیل‌دهنده‌ی گره: به rhizobia مراجعه فرمایید.

nonhumic substances- مواد غیرهومیکی : بخشی از ماده‌ی آلی که از مواد آلی با وزن مولکولی کم، که عمدتاً مولکول‌های زیستی در آن قابل تشخیص می‌باشند، تشکیل شده است.

no-tillage - نبود خاک‌ورزی: به conservation , tillage مراجعه کنید.

nucleic acids- اسیدهای نکلوییک : اسیدهای آلی مرکب که در هسته‌ی یاخته گیاهان و جانوران یافت می‌شود، ممکن است در تر کیب با پروتیین‌ها و یا نکلوئوپروتیین‌ها باشد.

O horizon- افق O : افق آلی خاک‌های معدنی.

ochric epipedon- افق سطحی اکریک : به diagnostic surface horizon مراجعه کنید.

octahedral sheet- ورقه‌ی ۸ وجهی : صفحاتی که به‌طور افقی اتصال یافته‌اند، واحدهای اکتاهیدرال که به‌عنوان اجزای اصلی ساختمانی کانی‌های سیلیکاتی (رس) عمل می‌کنند. هر واحد از یک اتم فلزی مرکزی (مثلاً Al,Mg ویاFe) که در ۶ جهت با ۶ گروه هیدرواکسیل احاطه شده به تعادل رسیده است، این هیدراکسیل‌ها با اتم‌های فلزی مجاور نیز ارتباط یافته‌اند. بنابراین، به‌عنوان اتصال بین لایه‌ای که این صفحات را به‌هم وصل می‌کند عمل می‌کنند.

oligotrophic- کم‌پرور : محیط‌هایی مانند خاک و دریاچه‌ها که از نظر عناصر غذایی فقیر می‌باشند.

order soil- راسته‌ی خاک : به soil classification مراجعه کنید.

organic fertilizer-کود آلی : محصول فرعی حاصل از فراوری مواد گیاهی و حیوانی که داری مقادیر کافی عناصر غذایی بوده و می‌تواند همانند کودهای شیمیایی باارزش باشد.

organic soil - خاک آلی : خاکی که بیش از نصف ضخامت خاکرخ از مواد خاکی آلی تشکیل شده باشد.

organic soil material – خاک‌ماده‌های آلی (مطابق رده‌بندی خاک ایالت متحده): ۱- برای مدت‌های طولانی از آب اشباع باشند، مگر آن‌که به‌طور مصنوعی زه‌کشی شوند. دارای ۱۸ درصد وزنی و یا بیشتر کربن آلی در صورتی که بخش معدنی دارای بیش از ۶۰ درصد رس، و دارای بیشتر از ۱۲درصد کربن آلی اگر بخش معدنی دارای رس نباشد، و یا بین ۱۲ و ۱۸ درصد کربن آلی وقتی درصد رس در بخش معدنی از ۰ تا ۶۰ باشد. ۲- برای بیش از چند روز هر گز از آب اشباع نبوده و دارای بیش از ۲۰ درصد کربن آلی باشد. هیستوسول‌ها بر روی این مواد خاکی آلی تکامل می‌یابند سه نوع ماده‌ی آلی موجود است:

fibric materials- مواد الیافی : دارای کمترین تجزیه در بین مواد خاکی آلی می‌باشد، دارای مقادیر زیاد الیاف بوده که به خوبی نگهداری شده و به آسانی منشاء گیاه‌شناسی آن قابل تشخیص است.

hemic materials- مواد نیمه‌تجزیه‌شده : درجه‌ی تجزیه‌ی مواد آلی در حد متوسط است.

sapric Materials- مواد تجزیه‌شده : دارای بیشترین تجزیه در بین مواد خاکی آلی می‌باشد، دارای بالاترین وزن مخصوص ظاهری، کمترین مواد الیافی و کمترین میزان آب هنگام اشباع می‌باشد.

ortstein- سخت لایه آهن و هموس : یک لایه سخت شده در افق B خاک‌های اسپدوسول که در آن‌ها مواد سیمان‌کننده شامل سزکی اکسیدهای آبشویی شده (عمدتاً آهن) و ماده‌ی آلی می‌باشد.

osmotic pressure- فشار اسمزی : فشار اعمال شده در اجسام زنده درنتیجه غلظت نامساوی نمک‌ها در دو طرف دیواره‌ی یاخته یا غشاء آب از منطقه‌ای که دارای غلظت کمتر نمک است از طریق غشاء تراوا به منطقه‌ای که دارای غلظت نمک بیشتری است حرکت کرده. و بنابراین، سبب ایجاد فشار بیشتری در قسمتی که دارای غلظت نمک بیشتری است می‌شود.

outwash plain- دشت فرسایشی: رسوب مواد دانه‌درشت (شن و سنگ‌ریزه) به‌جای‌مانده به‌وسیله‌ی رودهای حاصل از ذوب یخ پس از عقب‌نشینی یخچال‌ها.

oven-dry soil- خاک خشک کوره : خاکی که در ۱۰۵ درجه حرارت تا رسیدن به وزن ثابت خشک شده است.

oxic horizon- افق اکسیک : به diagnostic subsurface horizon مراجعه کنید.

oxidation- اکسایش : ازدست‌رفتن الکترون به‌وسیله‌ی یک ماده، و بنابراین کسب ظرفیت مثبت. در بعضی مواقع به ترکیب شیمیایی با گاز اکسیژن گفته می‌شود.

oxidation ditch- نهراکسایش : یک آبراهه‌ی مصنوعی برای هضم نسبی مواد آلی مایع که در آن‌ها فضولات در چرخش قرار گرفته و به‌وسیله‌ی یک وسیله مکانیکی هوا داده می‌شود.

oxisols- خاک‌های اکسی‌سول : به soil classification مراجعه کنید.

pans- سخت لایه‌ها : افق‌ها و یا لایه‌هایی از خاک که به شدت متراکم و یا سخت گردیده و یا دارای مقدار رس زیادی می‌باشند. به hardpan,fragipan,claypan,caliche مراجعه کنید.

parent material- مواد مادری : کانی‌ها و یا موادآلی نامتراکم و کم‌وبیش با هوا دیدگی شیمیایی که از آن افق‌های خاک در اثر فرایندهای خاک‌سازی ایجاد شده‌اند.

particle density- چگالی حقیقی : جرم در واحد حجم ذرات خاک، در کارهای فنی معمولاً به صورت تن متریک در متر مکعب (Mg/m^3) و یا گرم در سانتی‌متر مکعب (g/Cm^3) بیان می‌شود.

particle size- اندازه ذرات: قطر موثر یک ذره به‌وسیله‌ی ته‌نشینی، الک‌کردن و با روش‌های ریزسنجی تعیین می‌شود.

particle size analysis- تجزیه‌ی اندازه ذرات: تعیین مقادیر مختلف اجزاء خاک در یک نمونه، معمولاً به‌وسیله‌ی ته‌نشینی، الک‌کردن، ریزسنجی و یا ترکیبی از این روش‌ها.

particle size distribution – توزیع اندازه‌ی ذرات: مقادیر اجزای مختلف خاک در یک نمونه خاک که معمولا برحسب درصد وزنی بیان می‌شود.

partitioning- تفکیک کردن : توزیع مواد شیمیایی (مانند آلاینده‌ها) به بخش‌هایی که در ماده‌ی آلی حل می‌شوند. و بخش‌هایی که در محلول خاک نامحلول باقی می‌مانند.

pascal- پاسکال : واحد فشار در نظام SI که مساوی یک نیوتن‌درمترمربع است.

peat- پیت، تورب : مواد خاکی نامتراکم که عمدتاً از ماده‌ی آلی تجزیه‌نشده، و یا اندک تجزیه‌شده، که در شرایط رطوبت زیاد تجمع یافته است تشکیل شده باشد به peat soil,organic soil material مراجعه کنید.

peat soil- خاک پیت : یک خاک آلی که دارای بیش از ۵۰ درصد ماده‌ی آلی است. در ایالات متحده این واژه به مرحله تجزیه ماده‌ی آلی اشاره دارد. پیت بیانگر تجزیه اندک و یا عدم تجزیه رسوبات و ماک بیانگر مواد به شدت تجزیه شده می‌باشد. به peat,muck soil muck نیز مراجعه کنید.

ped- خاک واحد: واحدی از ساختمان خاک مانند گرد دانه‌ای، اسفنجی، مکعبی که به‌وسیله‌ی فرایندهای طبیعی ایجاد شده است (مغایر با آن کلوخه است که به طور مصنوعی ایجاد شده است).

pedon- پدون : کوچک‌ترین حجمی که بتوان آن را خاک نامید، دارای سه بُعد است و تا عمق ریشه گیاهان و یا حد پایین افق‌های توارثی خاک تداوم یافته است. مقطع عرضی جانبی آن تقریباً ٦ وجهی بوده و اندازه‌ی آن بسته به تغییرات در افق‌ها از ۱ تا ۱۰ متر مربع می‌باشد.

pedoturbation- زیر و روشدن خاک : به‌هم‌خوردن و یا مخلوط‌شدن افق‌های خاک به طور فیزیکی به‌وسیله‌ی نیروهای مانند حیوانات حفار (مخلوط‌شدن جانوری) و یا گردش یخ (مخلوط‌شدن یخ)

peneplain- دشت سر : یک منطقه مرتفع مضرس، که به‌وسیله‌ی فرسایش به یک سطح دارای شیب آرام که مشابه به دشت می‌باشد تبدیل شده است.

penetrability- قابلیت نفوذ: سهولت فشاردادن یک میله به داخل خاک می‌باشد. ممکن است در واحد فاصله، سرعت، و یا کار بسته به نوع نفوذسنج به کار رفته بیان شود.

penetrometer- نفوذ سنج: وسیله‌ای که از یک میله با نوک مخروطی مانند، و وسیله‌ای برای اندازه‌گیری نیروی لازم برای فشار دادن آن به داخل عمق مشخص خاک تشکیل شده است.

percolation,soil water- فرونشست آب خاک : حرکت رو به پایین آب از داخل خاک. به‌خصوص حرکت رو به پایین آب در خاک اشباع در شیب‌های آبی ۱ و یا کمتر.

percolation test- آزمایش فرونشست : اندازه‌گیری میزان فرونشست در خاکرخ، معمولاً جهت تعیین تناسب خاک برای استفاده در میدان زه‌کشی مخزن فاضلاب به‌کار می‌رود.

perc test- آزمایش فرونشست : به percolation test مراجعه کنید.

perforated plastic pipe- لوله‌ی مشبک پلاستیکی: لوله‌ایی که در بعضی موارد قابل انعطاف بوده، و دارای منافذ و یا شکاف‌هایی می‌باشد که امکان عبور و تخلیه هوا و آب را فراهم می‌کند. برای زه‌کشی خاک و پخش پساب در داخل خاک به‌کار می‌رود.

permafrost- یخبندان دایمی : ۱- ماده یخزده دایم در زیر خاک ۲- یک افق یخزده دایمی خاک

permanent charge- بار دایمی : به constant charge مراجعه کنید.

permanent wilting point- نقطه‌ی پژمردگی دایم: به wilting point مراجعه کنید.

permeability,soil- نفوذپذیری خاک: سهولت دخول گازها، مایعات و ریشه‌ی گیاهان و یا عبور آن‌ها از درون کل خاک و یا لایه‌ای از آن.

petroclacic horizon- افق پتروکلسیک : به diagnostic subsurface horizon مراجعه کنید.

petrogypsic horizon- افق پتروجیپسیک :، به diagnostic subsurface horizon مراجعه کنید.

pH -pH,soil خاک : لگاریتم منفی فعالیت (غلظت) ین هیدروژن خاک. درجه‌ی اسیدیته(و یا قلیاییت) خاک که به‌وسیله‌ی الکترود شیشه‌ای و یا الکترودهای مناسب دیگر و یا معرف‌های شیمیایی در میزان رطوبت و یا نسبت خاک به آب خاص تعیین می‌شود و در مقیاس pH بیان می‌گردد.

phase,soil- فاز خاک : تقسیمات فرعی سری خاک و یا سایر واحدهای طبقه‌بندی که دارای خصوصیاتی هستند که در استفاده و مدیریت خاک موثر بوده اما چنان تغییر نمی‌کند که به‌صورت سری جداگانه تفکیک گردند. این خصوصیات عبارت از درجه‌ی شیب، درجه‌ی فرسایش و میزان سنگ می‌باشند.

pH-dependent charge- بار وابسته به pH : آن بخش از بار دایم کلوییدهای خاک که با pH تحت تأثیر قرار گرفته و تغییر می‌کند.

photomap- نقشه‌ی هوایی : نقشه موزاییک حاصل از عکس‌های هوایی که به آن اسامی محل‌ها، اطلاعات اضافی و سایر اطلاعات نقشه اضافه شده است.

Phyllosphere- گیاه کره: سطح برگ

physical properties(of soil)- خصوصیات فیزیکی (خاک): آن دسته از خصوصیات، فرایندها و یا واکنش‌های خاک که به‌وسیله‌ی نیروهای فیزیکی ایجاد شده و می‌تواند به‌وسیله‌ی واژه‌ها و یا معادلات فیزیکی تشریح و یا بیان گردد. نمونه‌های از خصوصیات فیزیک عبارتند از : وزن مخصوص ظاهری، ظرفیت نگهداری آب، هدایت آبی، تخلخل، توزیع اندازه‌ی منافذ و غیره می‌باشد.

phytotoxic substances- گیاه سم‌ها : مواد شیمیایی سمی برای گیاهان.

placic horizon- افق پلاسیک : به diagnostic subsurface horizon مراجعه کنید.

plaggen epipedon- افق پلاگن: به diagnostic surface horizon مراجعه کنید.

plant nutrients- عناصر غذایی : به essential nutrients مراجعه کنید.

plastic limit(PL)- حد شکل پذیری : به Atterberg limits مراجعه کنید.

plastic soil- خاک شکل پذیر : خاکی که قابلیت شکل‌پذیری و یا تغییرشکل را به طور مداوم و همیشگی در اثر فشار متوسط به اشکال مختلف دارا باشد، consistence را نیز مشاهده کنید.

platy- بشقابی : شامل خاکدانه‌هایی می‌باشد که اغلب در طول محور افقی ایجاد شده‌اند، خاکدانه‌های فلسی، ورقه‌ورقه‌ای.

plinthite(brick)- پلینایت (آجر): مخلوط بسیار هوادیده سزکی اکسیدهای آهن و آلومینیوم با کوارتز و یا سایر مواد رقیق کننده که به‌صورت نقطه‌ای قرمز مشاهده شده و در اثر خشک‌شدن و مرطوب‌شدن متناوب به طبقه سخت غیرقابل‌برگشت تبدیل می‌شود.

plow layer- لایه‌ی شخم : خاکی که به طور معمول با شخم مزرعه تغییر مکان می‌یابد، معادل surface soil می‌باشد.

plow pan- سخت کفه‌ی شخم : لایه‌ای از خاک شخم که دارای وزن مخصوص ظاهری بالا و تخلخل کل کمتری از لایه‌های رویی و یا زیرین خود می‌باشد. این لایه در نتیجه فشار اعمال شده براثر خیش معمولی و سایر ادوات خاک‌ورزی ایجاد می‌شود.

plow-plant- شخم – کشت :conservation,tillage را مشاهده کنید.

plowing- شخم زدن : عملیات اولیه‌ی خاک‌ورزی گسترده که برای خردکردن یکنواخت خاک با برگرداندن کامل و یا نسبی آن انجام می‌گردد.

point of zero charge- نقطه‌ی بار صفر :pH محلول در تعادل با ذرات جامد که خالص بار آن‌ها از تمام منابع صفر باشد.

polypedon - پلی پدون: دو و یا چند پدون مجاور که تمام آن‌ها در محدوده تعریف شده یک سری خاک جای می‌گیرند. معمولاً به آن‌ها soil individual گفته می‌شود.

pore size distribution- توزیع اندازه‌ی روزنه‌ها: حجم منافذ خاک در اندازه‌های مختلف برحسب حجم کل خاک (حجم خاک به اضافه حجم روزنه‌ها) بیان می‌شود.

porosity,soil- تخلخل خاک : درصد حجمی از کل حجم خاک که به‌وسیله‌ی ذرات جامد اشغال نشده باشد.

prefrential flow- جریان ترجیحی : حرکت غیریکنواخت آب و مواد محلول آن در داخل خاک در طول مسیرهای مشخص که اغلب منافذ درشت می‌باشد.

primary consumer- مصرف‌کننده‌ی اصلی : جانداری که بر روی مواد گیاهی زندگی می‌کند.

primary mineral- کانی اولیه : یک کانی که از هنگام ته‌نشینی و بلوری‌شدن گدازه مذاب به طور شیمیایی تغییر نیافته باشد.

primary producer- تولیدکننده‌ی اصلی : یک موجود زنده (معمولاً گیاه قادر به سوخت‌وساز نوری) که ایجاد مواد آلی پرانرژی از مواد شیمیایی معدنی، انرژی آفتاب و آب می‌کند.

Primary tillage – خاک‌ورزی اولیه : به tillage,primary مراجعه کنید.

primary effect- اثر تحریکی: افزایش تجزیه در هموس نسبتاً پایدار خاک براثر ارتقای خیلی زیاد فعالیت زیستی، به دنبال اضافه‌کردن مواد آلی تازه به خاک صورت می‌گیرد.

prismatic soil structure- ساختمان منشوری خاک : نوعی از ساختمان خاک با خاکدانه‌های منشورمانند که دارای محور قائم بسیار بلندتری از محور افقی می‌باشد

procaryote- پروکاریوت :یک موجود زنده که یاخته‌ی آن هسته مشخص ندارد.

proctor test- آزمایش پروکتور : عملیات آزمایشگاهی که مشخص‌کننده‌ی بیشینه‌ی مقدار وزن مخصوص ظاهری قابل دسترس در یک خاک و بهینه‌ی مقدار آب برای تراکم یک خاک می‌باشد.

productivity,soil- باروری خاک : ظرفیت یک خاک برای تولید نبات مخصوص و یا نباتات مخصوص در توالی با همدیگر در یک نظام مدیریتی می‌باشد.این واژه بر ظرفیت خاک در تولید نبات تأکید دارد و نباید در قالب عملکرد بیان شود.

profile,soil- خاکرخ : مقطع قائم خاک از داخل تمام افق‌های آن که تا ماده‌ی مادری ادامه دارد.

protein- پروتیین : هر گروه از ترکیبات آلی نیتروژن‌دار که با پلیمریزه‌شدن تعداد زیادی از مولکول‌های اسید آمینه تشکیل شده و به دنبال آبکافت، اسید آمینه ایجاد می‌کند. بخش اساسی مواد زنده بوده و یکی از مواد اساسی غذایی حیوانات می‌باشد.

protonation- پروتونی‌شدن : چسبیدن پروتون (یونH) به گروه‌های OH بر روی سطح ذرات خاک که سبب ایجاد بار کلی مثبت برروی سطح ذره می‌شود.

protozoa- تک‌یاخته‌گان : یک موجود تک‌یاخته‌ای بدون هسته مانند آمیب‌ها.

puddled soil- خاک شُله‌زده، خاک گلخراب : یک خاک متراکم، سنگین که هنگام مرطوب‌بودن متراکم شده و دارای ساختمان خاکدانه‌ای نمی‌باشد. این شرایط معمولاً در اثر انجام عملیات خاک‌ورزی در یک خاک رس مرطوب ایجاد می‌شود.

rain,acid- باران اسیدی : بهacid rain مراجعه کنید.

reaction,soil- واکنش خاک : درجه‌ی اسیدیته و یا قلیاییت خاک معمولاً بر حسب مقدار pH و یا به‌صورت واژه‌هایی که از اسیدته خیلی شدید برای $pH < ۴/۵$ تا قلیاییت شدید برای $pH > ۹$ تغییر می‌کند. بیان می‌گردد.

recharge area- منطقه‌ی تغذیه : یک منطقه‌ی جغرافیایی که در آن یک آبخوان بسته مواجه با نفوذ و تراوش سطحی آب برای تغذیه‌ی آب زیرزمینی آن می‌باشد.

redox concentrations- غلظت اکسید احیایی : مناطق با تراکم اکسیدهای Fe و Mn در خاک.

redox depletions- تخلیه‌ی اکسید احیایی : مناطق با کرومای پایین (۲ >) که در آن اکسیدهای Feو Mn و بعضی مواقع رس به‌صورت نوارهایی از خاک جدا شده‌اند.

redoximorphic features- چهره‌های اکسید احیایی : خصوصیات خاک همراه با مرطوب‌بودن که درنتیجه احیاء و اکسایش ترکیبات آهن و منگنز بعد از اشباع خاک و خارج‌شدن آن از اشباع به وجود می‌آید. Redox depletion,redox concentrations را مشاهده کنید.

redox potential- پتانسیل اکسید احیایی : پتانسیل الکتریکی (که بر حسب ولت یا میلی‌ولت اندازه‌گیری می‌شود.) یک نظام به خاطر تمایل مواد آن برای کسب و یا ازدست‌دادن الکترون.

reduction- احیاء : کسب الکترون، و بنابراین ازدست‌دادن ظرفیت بارمثبت به‌وسیله‌ی یک ماده. در بعضی موارد ازدست‌دادن اکسیژن و یا کسب هیدروژن را نیز شامل می‌شود.

regolith- رگولیت، سنگ‌پوش: پوشش مواد نامتراکم از سنگ‌های هوادیده و مواد خاکی در سطح خاک ؛ مواد سست خاکی در روی سنگ سخت (تقریباً معادل واژه‌ی خاک است که به‌وسیله‌ی بسیاری از مهندسین به‌کار می‌رود).

relief- پستی و بلندی: اختلاف نسبی در ارتفاع بین رأس برجستگی‌ها و اراضی پست و یا دره‌ها در یک منطقه‌ی مشخص.

residual material- مواد در جا : مواد معدنی غیرمتراکم و نسبتاً هوا دیده که براثر تجزیه‌ی سنگ سخت متراکم در محل تشکیل شده باشد.

rhizobia- ریزوبیا : باکتری‌هایی که قادرند با گیاهان عالی به‌صورت همزیست زندگی کنند. معمولاً به صورت گره‌هایی برروی ریشه‌ی نیامداران انرژی خود را کسب کرده و دارای قابلیت تبدیل نیتروژن نیوار به اشکال مرکب آلی می‌باشند. بنابراین، واژه‌ی باکتری‌های همزیست تثبیت‌کننده نیتروژن (از نام *Rhizobium* اشتقاق یافته)به آن‌ها اطلاق می‌شود.

rhizosphere- ریزوسفر (فرا ریشه) : آن بخش از خاک که بلافاصله در مجاورت ریشه‌ی نباتات بوده که در آن فراوانی و ترکیب جمعیت میکروبی تحت تأثیر حضور ریشه می‌باشد.

rill- شیار : مسیر جریان کوچک، و متناوب آب با دیواره‌های شیب‌دار، که فقط چند سانتی‌مترعمق داشته و ممانعتی در انجام عملیات خاک‌ورزی ایجاد نمی‌کند.

rill erosion- فرسایش شیاری : erosion را مشاهده کنید.

riparian zone- زمین کرانه‌ای، محدوده‌ی رودخانه‌ای : مناطق در بالا و پایین سطح زمین که در حاشیه یک رودخانه قرار گرفته است.

riprap- پوشش سنگی : سنگ‌های شکسته، قلوه‌سنگ‌هایی که در سطح زمین مانند سطح یک سد و یا ساحل یک رودخانه برای محافظت آن در مقابل نیروی موج آب جایگذاری شده است، این واژه همچنین برای پوشش‌های سر شاخه و تیرهای چوبی و یا سرشاخه و سنگ و یا سایر مواد مشابه که برای مهار فرسایش خاک به کار می‌روند، مورد استفاده می‌باشد.

rock- سنگ : موادی که بخش اصلی پوسته‌ی سخت زمین را تشکیل می‌دهند، شامل توده‌های سست ناپیوسته مانند شن و سنگریزه و همین‌طور توده‌های متراکم گرانیت و سنگ آهک می‌باشد.

root interception- جذب ریشه : دسترسی به عناصر غذایی به‌وسیله‌ی ریشه براثر رشد ریشه به نزدیکی منبع غذایی.

root nodules- گره ریشه : بخش‌های متورم‌شده بر روی ریشه‌ی نبات. اغلب آن‌هایی که ریزجانداران همزیست زندگی می‌کنند مورد نظر می‌باشد.

rotary tillage- خاک‌ورزی دوار : به tillage,rotary مراجعه کنید.

runoff- رواناب : بخشی از بارندگی در یک منطقه که از طریق آبراهه رودخانه از منطقه خارج می‌شود به آن بخش که بدون واردشدن به خاک از بین می‌رود surface runoff گفته می‌شود. و آن بخش که بدون رسیدن به رودخانه داخل خاک می‌شود seepage flow,ground water runoff ناشی از آب زیرزمینی می‌باشد. در خاک شناسی رواناب معمولاً به آب از دست رفته به‌وسیله‌ی جریان سطحی اشاره دارد. در زمین‌شناسی و هیدولیک رواناب معمولاً شامل جریان سطحی و زیرسطحی می‌باشد.

salic horizon- افق سالیک: به diagnostic subsurfase horizons مراجعه کنید.

saline-sodic soil- **خاک شور-سدیمی**: خاکی که دارای مقادیر کافی سدیم قابل تبادل برای مزاحمت در رشد اکثر نباتات بوده و دارای مقادیر قابل‌توجهی نمک‌های محلول می‌باشد نسبت سدیم قابل‌تبادل (SAR) بیشتر از ۱۳ بوده و هدایت الکتریکی عصاره اشباعی آن بزرگ‌تراز ٤ دسی‌زیمنس در متر می‌باشد. pH در عصار اشباعی معمولاً کمتر از ۸/۵ می‌باشد.

saline soil- **خاک شور** : خاک غیرسدیمی که دارای نمک کافی برای ازبین‌رفتن توان تولید آن است. هدایت الکتریکی عصاره اشباعی از ٤ دسی‌زیمنس در متر بیشتر است نسبت سدیم قابل تبادل کمتر از ۱۳ وpH کمتر از ۸/۵ است.

saline seep- **شور نشت**: یک منطقه که آب شور با نشت در سطح خاک ظاهر شده و در اثر تبخیر آب مقدار زیادی تراکم نمک به‌جای می‌گذارد.

saliization- **شورشدن** : فرایند تراکم نمک در خاک.

saltation- **پرش** : حرکت ذرات در آب و باد که در آن ذرات در طول بستر جریان و یا سطح خاک بالا و پایین جست‌وخیز می‌کنند.

sand- **شن و ماسه** : ذرات خاک با قطره ۲-۰/۰۵ میلی‌متر، یک نوع بافت خاک.

sapric material- **مواد پوسیده** : به organic soil material مراجعه کنید.

saprolite- **سنگ پوسیده** : سنگ بستری که درجا دچار هوادیدگی شده، به‌طوری‌که متخلخل شده و می‌تواند با بیل حفر گردد.

saturated past extract- **عصاره گل اشباع** : عصاره حاصل از گل اشباع، که هدایت الکتریکی (EC) آن به‌طور غیرمستقیم بیانگر میزان نمک خاک می‌باشد.

saturation extract- **عصاره‌ی اشباعی** : محلول خارج شده از گل اشباع خاک

saturation Percentage - **درصد اشباع** : میزان آب یک گل اشباع خاک بر حسب درصد وزن خشک.

savanna (savannah)- **ساوانا**: اراضی مرتعی با درختان پراکنده چه به‌صورت انفرادی و یا چندتایی. اغلب حالت انتقالی بین مراتع واقعی و جنگل می‌باشد.

secondary mineral- **کانی ثانویه**: کانی حاصل از تجزیه‌ی یک کانی اولیه ویا ترسیب مجدد مواد حاصل از تجزیه‌ی کانی‌های اولیه. به primary mineralنیز مراجعه کنید.

second bottom- **دومین سطح** : اولین پادگانه در بالای سیلدشت یک رودخانه.

sediment- **رسوب، نهشته** : ذرات انتقال‌یافته و تەنشین‌شده و یا خاکدانه‌های حاصل از خاک‌ها، سنگ‌ها و مواد زیستی.

sedimentry rock- **سنگ رسوبی**: سنگ حاصل از مواد تەنشین‌شده از محلول معلق و یا ترسیب شده از مواد محلول که معمولاً کم‌وبیش تحکیم یافته است. سنگ‌های عمده رسوبی عبارتند از ماسه سنگ، شیل، سنگ آهک وکنگلومرا.

seedbed- **بستر بذر** : خاکی که برای ارتقای جوانه‌زدن بذر و ریشه‌ی نهال‌ها آماده شده است.

self mulching soil- **خاک خود پوش**: خاکی که در آن لایه سطی چنان به‌خوبی خاکدانه‌ای شده باشد که براثر ضربات باران سله سخت و نرم ایجاد نکرده و پس از خشک‌شدن به عنوان یک خاک‌پوش سطحی عمل کند.

semiarid- **نیمه‌خشک** : واژه‌ای که برای اقالیم و یا مناطقی به‌کار می‌رود که رطوبت آن بسیار بیشتر از مناطق خشک است اما هنوز رشد اکثر نباتات را به طرز مشخص دچار محدودیت می‌کند.. پوشش طبیعی در مناطق اصلی گیاهان چمنی کوتاه است.

separate soil- **گروه اندازه‌های خاک** : یکی از گروه‌های‌اندازه‌ی انفرادی ذرات خاک‌های معدنی مانند شن، لای و یا رس.

septic tank- **مخزن فاضلاب** : یک مخزن زیرزمینی که برای تەنشینی فضولات شهری به‌کارمی‌رود ماده‌ی آلی در مخزن تجزیه شده و مایع فاضلاب در داخل خاک اطراف زه‌کشی می‌شود.

series,soil- **سری خاک**: به soil classification مراجعه کنید.

sewage effluent- **مایع فاضلاب** : بخش مایع فاضلاب و یا پساب که معمولاً برای جدا نمودن بعضی از ترکیبات آلی محلول و عناصر غذایی در فاضلاب اصلی مورد اصلاح قرار می‌گیرند.

sewege sludge- **مواد جامد فاضلاب** : مواد جامد تەنشین‌نشده فاضلاب همراه با مقادیر مختلف آب و مواد محلول که به‌وسیله‌ی غربال‌کردن، تەنشینی، ترسیب شیمیایی و یا هضم میکروبی از فاضلاب جدا می‌شوند به آن‌ها مواد جامد زیستیbiosolid نیز گفته می‌شود.

shear- **نیروی برشی**: نیرو، همانند آن‌چه در یکی از ادوات خاک‌ورزی در یک زاویه عمودی بر مسیر حرکت اعمال می‌کند.

sheet- صفحه، ورقه: (کانی‌شناسی) آرایش مسطح بیش از ضخامت یک اتم که از یک یا چند سطح پلی‌هیدروژن تشکیل شده باشد صفحه از plan ضخیم‌تر و نازک‌تر از یک layer می‌باشد نمونه آن صفحه چهاروجهی و صفحه ۸ وجهی می‌باشد.

sheet erosion- فرسایش صفحه‌ای، فرسایش ورقه‌ای: به erosion مراجعه کنید.

shelterbelt- کمربند حفاظتی : مانع بادی متشکل از درختان و بوته‌های زنده که برای حفاظت مزارع استقرار یافته و نگهداری می‌شود مترادف با بادشکن می‌باشد.

shifting cultivation- کشت‌وکار نوبتی : یک نظام کشت‌وکار که در آن اراضی از تمام بقایا و بوته‌ها پاک شده و خس و خاشاک سوخته شده و محصول برای ۲ و یا ۳ سال کشت می‌گردد. وقتی زارع به سراغ کرت دیگری می‌رود زمین برای مدت ۵ تا ۱۵ سال نکاشت باقی مانده و پس از آن سوزاندن و کشت محصول تکرار می‌شود.

short range order minerals- کانی‌های با ساختمان بلوری ضعیف : کانی‌های مانند آلوفان که چار چوب ساختمانی آن از ساختمان‌های بلوری منظم فاصله کوتاه تشکیل شده که در فواصل داخلی مواد بدون شکل غیربلوری پراکنده شده است.

side-dressing- کود کناری : استعمال کود شیمیایی در کنار زراعت‌های ردیفی معمولاً در سطح خاک، مواد نیتروژن‌دار معمولاً به صورت کناری مصرف می‌شود.

silica/alumina ratio- نسبت سلیس به آلومینیوم : تعداد مولکول‌های اکسید سیلیسم (SiO_2) در یک مولکول اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) در کانی رس و یا در خاک.

silica/sesquioxide ratio- نسبت سلیس به سزکی اکسیدها: تعداد مولکول‌های اکسید سیلیسم (SiO_2) در یک مولکول اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) به اضافه مولکول‌های اکسید آهن Fe_2O_3 در کانی رس و یا در خاک.

silt- لای : ۱- بخش ذرات خاک شامل ذراتی با قطر معادلی در فاصله ۰/۰۰۲-۰/۰۵ میلی‌متر ۲- یک کلاس بافت خاک.

silting- رسوب‌گذاری : ته‌نشینی رسوبات موجود در آب در آبراهه رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، مخازن و یا بر روی سیلدشت‌ها که معمولاً از کاهش سرعت آب حاصل می‌شود.

site index- شاخص محل : ارزیابی کمی باروری یک خاک برای رشد درختان تحت شرایط موجود و یا در محیط خاص.

slag- بازمانده‌ی کارخانه : محصولی از کارخانه‌ی ذوب فلز که عمدتاً از سیلیکات‌ها و موادی که به‌نظر نمی‌رسند به عنوان فلز خالص و یا ناخالص تولید شده باشند تشکیل گردیده و دارای وزن ظاهری کمتری می‌باشند.

slash and burn- قطع و سوزاندن جنگل: به shifting cultivation مراجعه کنید.

slickensides- ساییده رخ، سطوح براق : سطوح تنشی که به‌وسیله‌ی کشیده‌شدن یک توده بر روی دیگری براق و مخطط شده است.

slick spots- نقاط چرب، لکه‌های وارفته: مناطق کوچک دریک مزرعه که هنگام خیس‌شدن به‌علت میزان زیاد مواد قلیایی و یا سدیم قابل‌تعویض وا می‌روند.

slope – شیب :درجه‌ی انحراف یک سطح از افق که به‌وسیله‌ی نسبت عددی، درصد، و یا درجه بیان می‌شود.

slow fraction (of soil organic matter) – بخش غیرفعال ماده‌ی آلی خاک : بخشی از ماده‌ی آلی خاک که با مشکل زیادی به‌وسیله‌ی ریز جانداران تحت تجزیه قرار می‌گرفته و دارای نیم عمری معادل چند سال تا چند دهه است. این بخش حاصل تجزیه‌ی قبلی می‌باشد.

smectite- رس اسمکتیت: گروهی از رس‌های سیلیکاتی با ساختمان شبکه‌ای ۲:۱ با جانشینی همشکل کافی در هر دو لایه سیلیس چهاروجهی و آلومینیوم هشت‌وجهی که سبب ایجاد بار منفی بین لایه‌ای و ظرفیت تبادل بالایی می‌شود و امکان انبساط و انقباض متقابل آنرا در بین لایه‌های رس فراهم می‌کند. مونت‌موریلنیت، بیدلایت، و ساپونیت در گروه اسمکتیت قرار دارند.

sodic soil- خاک سدیمی: خاکی که دارای مقادیر کافی سدیم برای ایجاد مزاحمت در رشد اکثر نباتات زراعی بوده و نسبت جذب سدیم آن ۱۳ویا بیشتر باشد.

sodium adsorption ratio- نسبت جذب سدیم: به‌صورت معادله‌ی $SAR = Na/\sqrt{1/2(Ca+Mg)}$ بیان می‌شود که در آن غلظت کاتیون‌ها بر حسب میلی‌مول بر لیتر است.

soil- خاک:یک جسم طبیعی پویا که از مواد معدنی و آلی و انواع موجودات تشکیل شده و در آن نبات می‌روید ۲ مجموعه‌ای از اجسام طبیعی که بخشی از سطح زمین را پوشانده و سبب حفظ نباتات گردیده و دارای خصوصیاتی هستند که حاصل اثرات جامع اقلیم، موجودات زنده بر مواد مادری در تحت شرایط پستی‌وبلندی در طول زمان می‌باشد.

soil air- هوای خاک : نیوار خاک، فاز گازی خاک، حجمی که به‌وسیله‌ی خاک و مایع اشغال نشده باشد.

soil alkalinity- قلیاییت خاک: درجه و شدت قلیاییت خاک که در مقیاس pH برحسب مقادیر بیشتر از ۷ بیان می‌شود.

soil amendments- مواد اصلاحی خاک: به هر ماده‌ای مانند آهک، گچ، خاک اره ویا اصلاح کننده‌های مصنوعی، که برای مساعدبودن بیشتر به خاک افزوده می‌شوند.

soil association- خاک مجموعه : گروهی از واحدهای مشخص شده و نامگذاری شده‌ی رده‌بندی خاک که در یک شیوه منحصر به خود در یک منطقه جغرافیایی با هم یافت می‌شوند. با گیاه مجموعه‌ها از راه‌های مختلف قابل مقایسه می‌باشند.

soil classification- طبقه‌بندی خاک(رده‌بندی خاک): ترتیب منظم خاک‌ها در گروه‌ها و یا دسته‌ها بر اساس خصوصیات مشترک آن‌ها.

order- راسته : دسته‌ای از خاک‌ها که دارای بالاترین سطح جمع‌بندی کلی در نظام تقسیم‌بندی خاک می‌باشند. خصوصیاتی که برای تشخیص رده انتخاب شده‌اند بیانگر درجه تکامل افق‌ها و انواع افق‌های موجود می‌باشد. ۱۲ رسته خاک عبارتند از :

Andisol- اندی‌سول‌ها: خاک‌های تکامل یافته از خاکسترهای آتشفشانی. بخش کلوییدی تحت غلبه آلوفان ویا ترکیبات هموس- آلومینیومی می‌باشد.

Alfisols- آلفی‌سول‌ها: خاک‌ها با افق‌های سطحی خاکستری تا قهوه‌ای، میزان عرضه‌ی متوسط تا زیاد بازها و با افق B_t حاصل از تراکم رس آبشویی شده، این خاک‌ها عمدتاً در تحت جنگل و یا پوشش ساوانا در اقالیمی یافت می‌شوند که دارای کمبود رطوبت فصلی کم و یا قابل‌توجه می‌باشند.

Aridisols- اریدی‌سول‌ها : خاک‌های مناطق خشک، خاک‌های اقالیم خشک دارای افق‌های توارثی خاک با ماده‌ی آلی کم می‌باشند. این خاک‌ها هرگز به مدت سه ماه متوالی مرطوب نمی‌باشند. این خاک‌ها دارای یک افق اکریگ و یک یا چند تا از افق‌های تشخیصی زیر مانند ارجلیک، ناتریک، کمبیک، کلسیک، پتروکلسیک، جیبسیک، پتروجیبسیک، سالیک و یا دوری‌پن (سخت‌لایه) می‌باشند.

Entisols- آنتی‌سول‌ها : خاک‌هایی که دارای افق‌های تشخیصی توارثی خاک نمی‌باشند. آن‌ها عملاً در هر اقلیمی بر روی چهره‌های سطح زمین ریختی خیلی جدید یافت شوند.

Gelisols- جلی‌سول‌ها: خاک‌هایی که دارای یخ بندان دایمی در ۱ متری فوقانی خاک، و یا دو متری فوقانی خاک در صورت گردش خاکرخ در اثر یخ‌بندان می‌باشند. ممکن است دارای افق اکریک، هیستیک، مولیک یا سایر افق‌های سطحی نیز باشند.

Histosols- هیستوسول‌ها : خاک‌های تشکیل شده از موادی که دارای ماده‌ی آلی زیاد می‌باشند. هیستوسول‌ها بدون رس باید حداقل ۲۰درصد وزنی (حدود ۷۸ درصد حجمی) ماده‌ی آلی داشته باشند. با افزایش مقدار رس این حداقل ماده‌ی آلی به ۳۰ درصد وزنی (حدود ۸۵درصد حجمی) در خاک‌هایی که حداقل دارای ٦٠ درصد رس می‌باشند افزایش پیدا می‌کند.

Inceptisols- اینسپتی‌سول‌ها : خاک‌هایی که اغلب مرطوب بوده و داری افق‌های توارثی حاصل از تغییر مواد مادری اما نه از آبشویی مواد فوقانی می‌باشند. معمولاً، جهت تکامل خاک با توجه به علائم باقی‌مانده به‌وسیله‌ی فرایند مختلف خاک‌سازی هنوز آشکار نیست، و یا علایم برای طبقه‌بندی آن‌ها در سایر رده‌ها ضعیف می‌باشند.

Mollisols- مولی‌سول‌ها : خاک‌ها با افق‌های سطحی غنی از ماده‌ی آلی تقریباً تیره‌رنگ و حاوی بازهای زیاد. دارای افق تشخیص سطحی مالیک و در صد اشباع بازی بیشتر از ۵۰ درصد در هر افق کمبیک و یا ارجلیک می‌باشند. آن‌ها فاقد خصوصیات ورتی‌سول‌ها بوده و باید دارای افق‌های اکسیک و اسپودیک نباشند.

Oxisols- اکسی‌سول‌ها : خاک‌ها با تراکم رس‌های غیرفعال، اکسیدهای آزاد، کائولین و کوارتز که عمدتاً در اقلیم گرمسیر یافت می‌شوند.

Spodosols- اسپودوسول‌ها : خاک‌ها با تراکم ماده‌ی آلی و ترکیبات آلومینیوم و معمولاً آهن در تحت‌الارض حاصل از آبشویی طبقات فوقانی این خاک‌ها. در خاک‌های اسیدی و عمدتاً از مواد دانه درشت در اقالیم مرطوب و معمولاً سرد و یا معتدل یافت می‌شوند.

Ultisols- آلتی‌سول‌ها : خاک‌هایی که دارای بازهای کم و افق‌های تحت‌الارض حاصل از آبشویی رس، ناشی از طبقات فوقانی می‌باشند. این خاک‌ها اغلب مرطوب بوده اما در طول فصول گرم سال بعضی از آن‌ها در بخشی از مواقع خشک می‌باشند.

Vertisols- ورتی‌سول‌ها : خاک‌های رسی با توان انقباض – انبساط زیاد که دارای ترک‌های عریض عمیق هنگام خشک‌شدن می‌باشند. اکثر این خاک‌ها دارای دوره‌های جداگانه خشک و مرطوب در طول سال می‌باشند

suborder- زیر راسته : این دسته‌بندی خاک‌ها را بر حسب تغییرات رژیم رطوبتی و حرارتی، انواع افق‌ها و ترکیب آن‌ها بر حسب آن‌که کدام‌یک مهم‌ترین می‌باشند تفکیک می‌کند.

great group- گروه بزرگ : کلاس‌های موجود در این دسته‌بندی دارای خاک‌هایی می‌باشند که دارای همان افق‌ها در همان توالی و رژیم‌های رطوبتی و حرارتی مشابه می‌باشند.

subgroup- زیر گروه: گروه‌های بزرگ به زیرگروه‌های حاوی مفهوم اصلی که نشان‌دهنده‌ی خصوصیات اصلی گروه بزرگ بوده، و یا به زیرگروه‌های بینابین که نشان‌دهنده‌ی خصوصیات بیش از یک گروه بزرگ بوده، و یا به زیرگروه‌ها در خاک‌هایی که دارای خصوصیات خاص بوده و دارای مشخصات هیچ‌کدام از گروه‌های بزرگ نمی‌باشند تقسیم می‌گردند.

family- خانواده : خانواده‌ها معمولاً برحسب خصوصیات فیزیکی و یا کانی‌شناسی مهم برای رشد نبات تقسیم‌بندی می‌شوند.

series- سری خاک: سری‌های خاک از تقسیمات فرعی خانواده بوده و شامل خاک‌هایی می‌باشد که در تمام خصوصیات مهم خاکرخ مشابه می‌باشند.

soil complex- همتافت خاک: واحد نقشه مورد استفاده در مطالعات خاک‌شناسی تفضیلی وقتی دو واحد رده‌بندی مشخص و یا بیشتر چنان در ارتباط نزدیک جغرافیایی باهم ادغام شده‌اند که جداکردن آن‌ها به دلیل مقیاس به‌کاررفته نامطلوب و یا غیرعملی می‌باشد. مخلوط‌شدن نزدیک‌ترمساحت‌های کوچک‌ترواحدهای رده‌بندی انفرادی در مقایسه با آن‌چه در soil association بیان گردید.

soil compressibility- تراکم پذیری خاک : خصوصیات خاک در ارتباط با ظرفیت آن در کاهش حجم کل هنگام قرارگرفتن در زیر یک بار

soil conditioner- بهساز فیزیکی خاک، اصلاح کننده‌ی خاک : هر ماده‌ای که به منظور ارتقای شرایط فیزیکی به خاک اضافه می‌شود.

soil conservation- حفاظت خاک : ترکیبی از روش‌های مدیریت و کاربری اراضی که سبب محافظت خاک در مقابل تخریب به‌وسیله‌ی انسان و یا طبیعت می‌گردد.

soil consociation- خاک مجموعه همسان: نوعی واحد نقشه شناسایی خاک که به خاطر رده غالب خاک جدا و ترسیم شده، و حداقل نصف واحد خاک دارای نام رده غالب بوده. و اکثر واحدهای باقی‌مانده چنان مشابه می‌باشند که در تفسیرهای به‌عمل آمده تأثیر نمی‌گذارند.

soil correlation- همبستگی خاک : فرایند تعریف، ترسیم و نامگذاری انواع خاک‌ها در یک منطقه خاص مورد مطالعه هدف این است که مطمئن شویم که خاک‌ها در حد کافی تعریف و با دقت ترسیم و به طور یکنواخت نام‌گذاری شده‌اند.

soil erosion- فرسایش خاک : erosion را مطالعه کنید.

soil fertility- حاصلخیزی خاک : fertility را مطالعه کنید.

soil genesis- تکوین خاک، توارث خاک : منشاء خاک با عنایت خاص به فرایندها و یا عوامل تشکیل خاک مسوول تکامل طبقات خاک و یا ایجاد خاک واقعی، از مواد مادری نا متراکم می‌باشد.

soil geography- جغرافیای خاک : رشته‌ی فرعی جغرافیای فیزیکی در ارتباط با توزیع فضایی انواع خاک‌ها می‌باشد.

soil horizon- افق خاک : به horizon,soil مراجعه کنید.

soil loss tolerance(T)- فرسایش قابل‌قبول : حداکثر فرسایش سالانه‌ی خاک که حفظ باروری محصول را به طور اقتصادی و نامحدود ممکن می‌سازد.

soil management- مدیریت خاک: تمامی عملیات خاک‌ورزی، عملیات کشت‌وکار، کود دادن، آهک‌دادن و سایر عملیات اصلاحی که در خاک برای تولید محصول اعمال و یا انجام می‌شود.

soil map- نقشه‌ی خاک: نقشه‌ای که توزیع انواع خاک‌ها و یا سایر واحدهای نقشه را در ارتباط با چهرهای برجسته‌ی فیزیکی و یا فرهنگی سطح زمین نشان می‌دهد.

soil mechanics and engineering- مکانیک و مهندسی خاک: زیر تخصصی از دانش خاک‌شناسی در ارتباط با اثرات نیروها در خاک و کاربرد اصول مهندسی در مسایل مربوط به خاک.

soil moisture potential- پتانسیل رطوبتی خاک : به soil water potential مراجعه کنید.

soil monolith- منولیت خاک : مقطع قائم خاکرخ که از خاک برداشت و برای مطالعه و نمایش در چهارچوب خاص قرار می‌گیرد.

soil morphology- ریخت‌شناسی خاک: وضع فیزیکی خاک، به‌خصوص خصوصیات ساختاری خاکرخ که به‌وسیله‌ی انواع، ضخامت و یا ترتیب افق‌ها در خاکرخ به نمایش گذاشته می‌شود. و یا به‌وسیله‌ی بافت، ساختمان، پایداری و تخلخل هر افق مشخص می‌شود.

soil order- راسته‌ی خاک: به soil classification مراجعه کنید.

soil profile- خاکرخ : مقطع عمودی از سطح تا داخل افق‌ها از جمله افقC به horizon,soil نیز مراجعه کنید.

soil organic matter- ماده‌ی آلی خاک : بخش آلی خاک که شامل پس‌مانده‌های گیاهی و جانوری در مراحل مختلف تجزیه، یاخته‌ها و بافت‌های موجودات خاک، و موادی است که به‌وسیله‌ی جمعیت خاک بازسازی می‌شوند. معمولاً به عنوان مقدار ماده‌ی آلی موجود در نمونه‌ی خاک که از الک دو میلی‌متری می‌گذرد مشخص می‌شود.

soil porosity- تخلخل خاک : به porosity,soil مراجعه کنید.

soil productivity- باروری خاک : به productivity مراجعه کنید.

soil quality – کیفیت خاک : ظرفیت یک خاک خاص برای ایفای نقش در محدوده یک بوم‌سامان طبیعی و یا تحت مدیریت انسان برای پایداری توان تولید نبات و حیوان، حفظ و یا ارتقای کیفیت آب و هوا و حفظ سلامت و مأوای انسان می‌باشد. در بعضی مواقع این ظرفیت در ارتباط با یک حالت طبیعی دست‌نخورده، مورد ملاحظه می‌باشد.

soil reaction – واکنش خاک : به soil، soil reaction، pH مراجعه کنید.

soil salinity – شوری خاک : مقدار نمک‌های محلول در یک خاک که بر حسب درصد، میلی‌گرم در کیلوگرم، قسمت در میلیون (ppm)، و یا سایر نسبت‌های مناسب دیگر بیان می‌شود.

soil separates- گروه اندازه‌های خاک : به sperate,soil مراجعه کنید.

soil series- سری خاک : به soil classification مراجعه کنید.

soil solution- محلول خاک : فاز مایع خاک و مواد محلول در آن شامل یون‌های جدا شده از سطح ذرات خاک و سایر مواد حل‌شدنی می‌باشد.

soil strength- قدرت خاک : یک خصوصیت انتقالی خاک که مربوط به هم‌چسبی و دگرچسبی فاز جامد خاک می‌باشد.

soil structure- ساختمان خاک: ترکیب و تنظیم ذرات اولیه خاک به‌صورت ذرات، واحدها و یا خاک واحدهای ثانویه، این واحدهای ثانویه بر حسب اندازه، شکل و درجه‌ی تمایز به ترتیب به کلاس‌ها، انواع و درجات مختلف تقسیم‌بندی شده است.

soil structure classes- کلاس‌های ساختمان خاک : گروه‌بندی واحدهای ساختمانی و یا خاک واحدها بر اساس اندازه از خیلی ریز تا خیلی‌درشت.

soil structure grades- درجات استحکام ساختمان : گروه‌بندی و یا طبقه‌بندی ساختمان خاک بر حسب نیروهای هم چسبی و دگرچسبی و پایداری بین‌دانه‌ای و یا درون‌دانه‌ای در خاکرخ، ٤ درجه استحکام خاک از صفر تا ۳ مشخص شده است.

۰- بی‌ساختمان : هیچ‌گونه دانه‌بندی مشاهده نمی‌شود.

۱- ضعیف : خاک واحدها با استحکام کم

۲- متوسط : خاک واحدها با استحکام متوسط

۳- قوی : خاک واحدها با استحکام زیاد.

soil structure types- شکل‌های ساختمان خاک : طبقه‌بندی ساختمان خاک بر اساس شکل خاکدانه‌ها و یا واحدهای ساختمانی و قرارگرفتن آن‌ها در خاکرخ بوده و شامل بشقابی، منشوری، ستونی، مکعبی، شبه‌مکعبی، خاکدانه‌ای و اسفنجی می‌باشد.

soil survey- شناسایی خاک: آزمون نظام‌مند، تشریح، طبقه‌بندی و تهیه‌ی نقشه‌ی خاک در یک منطقه. مطالعات شناسایی خاک بر حسب نوع و تعداد مشاهدات صحرایی طبقه‌بندی می‌شوند.

soil temperature classes- کلاس‌های دمایی خاک : معیارهایی که برای جداکردن خاک‌ها در طبقه‌بندی خاک آمریکایی در سطح خانواده مورد استفاده می‌باشد. کلاس‌ها بر حسب میانگین دمای سالانه و تفاوت بین دمای تابستان و زمستان در عمق ۵۰ سانتی‌متر مشخص می‌شوند.

soil textural classes- کلاس‌های بافت خاک: گروه‌بندی واحدهای بافت خاک بر اساس میزان نسبی اجزای مختلف خاک (شن، لای و رس). این کلاس‌های بافت از درشت‌ترین تا ریزترین بافت، شامل شن، شن لومی، لوم شنی، لوم، لوم سیلتی، سیلت، لوم رسی شنی، لوم رسی، لومی‌رسی سیلتی،

رس شنی، رس سیلتی و رس می‌باشد. زیر کلاس‌های مختلفی در کلاس‌های شن، شن لومی، لوم شنی بر اساس اندازه غالب ذرات بخش شن وجود دارد (مانند شن ریز لومی، لوم شنی درشت)

soil texture- بافت خاک : مقادیر نسبی گروه اندازه‌های مختلف خاک.

soil water potential- پتانسیل آب خاک (کل) : مقیاسی از اختلاف بین حالت انرژی آزاد آب خاک و آب خالص. این واژه به‌طور فنی چنین تعریف می شود : «مقدار کاری که در واحد کمی آب خالص باید انجام داد تا یک مقدار آب بی‌نهایت کوچک را به طور برگشت‌پذیر در دمای یکسان از یک منبع آب در ارتفاع خاص و فشار جوی به آب خاک در نقطه مورد نظر انتقال داد». این پتانسیل کل شامل پتانسیل‌های زیر است:

gravitational potential- پتانسیل ثقلی : آن بخش از پتانسیل کل که به خاطر تفاوت ارتفاع یک منبع آب خالص با آب خاک می‌باشد. ازآن‌جاکه ارتفاع آب خاک معمولاً چنان انتخاب می‌شود که از منبع مرجع بالاتر باشد، پتانسیل ثقلی معمولاً مثبت می‌باشد.

matric potential- پتانسیل ماتریک : آن بخش از پتانسیل کل آب خاک به خاطر نیروهای جاذبه بین آب و مواد جامد خاک که به‌وسیله‌ی جذب و مویینگی مشخص می‌شود. اکثراً منفی می‌باشد.

osmotic potential- پتانسیل اسمز : آن بخش از پتانسیل کل آب خاک که به خاطر حضور مواد حل‌شدنی در آب خاک می‌باشد. این پتانسیل اکثراً منفی می‌باشد.

solum - خاک فعال: بخش بالایی خاکرخ با بیشترین هوادیدگی : افق‌های B.E,A.

sorption- جذب: برداشت یک ین و یا یک مولکول از محلول خاک به‌وسیله‌ی جذب و یا جذب سطحی، این واژه وقتی سازوکار اصلی جذب مشخص نیست به کار می‌رود.

species diversity- تنوع گونه‌ای : انواع گونه‌های مختلف زیستی در یک بوم‌سامان، معمولاً تنوع بالا به‌وسیله‌ی گونه‌های زیاد با تعداد افراد اندک مشخص می‌شود.

species richness - غنای گونه‌ای : تعداد گونه‌های مختلف که در یک بوم‌سامان بدون توجه به توزیع افراد در بین این گونه‌ها وجود دارند.

specific heat capacity - گنجایش گرمایی ویژه : میزان انرژی جنبشی (گرما) که برای بالابردن دمای یک گرم ماده (در ارتباط با خاک و یا اجزای خاک) به مقدار یک درجه سانتی‌گراد لازم می‌باشد.

specific surface- سطح مخصوص : مساحت ذرات جامد خاک در واحد جرم یا حجم ذرات جامد.

splash erosion- فرسایش پاشمانی : به erosion مراجعه کنید.

spodic horizon- افق اسپدیک : به diagnostic subsurface horizon مراجعه کنید.

spodosols - راسته اسپدوسول: به soil classification مراجعه کنید

sprinkler irrigation- آبیاری بارانی : به irrigation methods مراجعه کنید.

stem flow- جریان ساقه‌ریز: فرایندی که در آن آب باران و یا آبیاری بارانی به‌وسیله‌ی آسمانه‌ی گیاهی نبات به تنه‌ی نبات می‌رسد تا سبب مرطوب‌شدن خاک زیر آسمانه به‌طور غیریکنواخت گردد.

stratified- لایه‌لایه‌ای : تنظیم شده و یا ترکیب شده از طبقات و لایه‌های مختلف

strip cropping- کشت نواری : عملیات کشت محصولات نیازمند انواع عملیات مختلف خاک‌ورزی مانند محصولات ردیفی و محصولات متراکم در نوارهای متناوب در طول خطوط تراز و یا عمود بر مسیر غالب باد

structure,soil - ساختمان خاک : به soil structure مراجعه کنید.

stubble mulch- خاکپوش کلشی : کلش یا بقایای نبات که در سطح اراضی به‌عنوان خاک‌پوش سطحی قبل از مرحله تهیه‌ی بستر بذر و یا در حین تهیه‌ی بستر و حداقل در بخشی از طول فصل نبات بعدی باقی می‌ماند.

subirrigation- آبیاری زیرزمینی : به روش‌های آبیاری مراجعه کنید.

subsoil- خاک تحت‌الارضی : بخشی از خاک زیر لایه‌ی شخم.

subsoiling- زیرشکنی : خردکردن خاک تحت‌الارض متراکم، بدون برگرداندن آن با یک وسیله چاقو مانند (اسکنه) که معمولاً در عمق ۳۰ تا ۶۰سانتی‌متری با فواصل ۱ تا ۲ متر در داخل خاک کشیده می‌شوند.

summer fallow- آیش تابستانه : یک نظام کشت‌وکار که شامل مدیریت اراضی آیش (بدون کشت) در تابستان برای مبارزه با گیاهان هرز و ذخیره رطوبت برای رشد نبات بعدی می‌باشد.

surface seal- اندوده‌ی سطحی : یک لایه نازک از ذرات ریز که در سطح یک خاک رسوب یافته و نفوذپذیری سطح خاک را به مقدار زیادی کاهش می‌دهد.

surface soil- خاک سطحی : بالاترین بخش خاک که معمولاً به‌وسیله‌ی عملیات خاک‌ورزی جابه‌جا می‌شود و یا معادل آن در خاک‌های کشت‌نشده که عمق آن معمولاً از ۷ تا ۲۵ سانتی‌متر تغییر می‌کند. معمولاً به عنوان لایه شخم، افق AP و یا لایه AP مشخص شده است.

surface tension- کشش سطحی : پدیده‌ای مشابه ارتجاع پذیری که حاصل جذب نامتعادل بین مولکول‌های مایع (معمولاً آب) و بین مولکول‌های مایع و گاز (معمولاً هوا) در سطح مشترک مایع و هوا می‌باشد.

symbiosis- همزیستی : زندگی‌کردن با همکاری نزدیک دو موجود غیرمشابه که این همکاری برای هر دو طرف سودمند می‌باشد

talus- واریزه‌ها: قطعاتی از سنگ و یا سایر مواد که به‌وسیله‌ی ثقل در پای پرتگاه‌ها و شیب‌های تند تجمع می‌یابد.

taxonomy,soil- رده‌بندی خاک : دانش طبقه‌بندی خاک‌ها، قوانین و اصول حاکم بر طبقه‌بندی خاک. به soil classification نیز مراجعه کنید.

tensiometer- مکش‌سنج: وسیله‌ای برای اندازه‌گیری فشار منفی (مکش) آب در خاک، یک درپوش سرامیکی متخلخل که به‌وسیله‌ی یک لوله به یک فشارسنج و یا خلاءسنج اتصال دارد.

tension,soil moisture- مکش آب خاک : به soil water potential مراجعه کنید.

terrace - تراس، پشته، سکو، پادگانه: ۱- یک دشت مسطح، معمولاً باریک، در حاشیه رودخانه، دریاچه و دریا، رودها در بعضی مواقع به‌وسیله‌ی پادگانه‌هایی در ارتفاعات مختلف احاطه شده‌اند.۲- یک نوار بلند نسبتاً مسطح و یا افقی خاک که معمولاً بر روی خطوط تراز ویا نسبتاً تراز به‌منظور مساعد ساختن اراضی برای انجام عملیات خاک‌ورزی ویا ممانعت از فرسایش شتابی با انحراف آب از آبراهه‌های نامتناسب تراکم آب ایجاد می‌شوند. بعضی مواقع به آن‌ها تراس‌های انحرافی اطلاق می‌شود.

tetrahedral sheet- ورقه‌ی ٤ وجهی: صفحه‌ای که واحدهای ٤ وجهی اجزای اصلی کانی‌های سیلیکاتی (رسی) را تشکیل می‌دهند به طور افقی به همدیگر اتصال می‌دهد هر واحد از یک اتم مرکزی چهار پیوندی (برای نمونه Al,Si,Fe) به‌وسیله‌ی چهار اتم اکسیژن محاصره شده و آن‌ها نیز به سایر اتم‌های نزدیک (برای مثال Al,Si,Fe) اتصال یافته‌اند و بنابراین به‌عنوان یک اتصال داخل لایه‌ای برای نگهداری صفحه عمل می‌کنند.

texture- بافت: به soil texture مراجعه کنید.

thermal analysis (differential thermal analysis)- گرماسنجی، گرماسنجی افتراقی: روش تجزیه‌ی نمونه خاک برای شناخت ترکیبات آن، بر اساس میزان تفاوت گرم‌شدن نمونه ناشناخته با نمونه استاندارد هنگام به‌کارگیری یک منبع یکنواخت گرما.

thermic- ترمیک : به soil temperature classes مراجعه کنید.

thermophilic organism- جانداران گرمادوست : موجودات زنده‌ای که به آسانی در دمای بالاتر از ٤٥ درجه سانتی‌گراد رشد می‌کنند.

thixotrophy- روان‌شدن: خصوصیات بعضی رس‌ها که هنگام لرزش و یا به‌هم زدن به سیال تبدیل شده و سپس در حالت سکون قوام می‌گیرند. مشابه واژه سریع در quick clay و یا quick sand می‌باشند..

tile,drain- تنبوشه‌ی زه‌کشی: لوله‌های ساخته شده از رس پخته، سیمان، مواد سرامیکی در طول‌های کوتاه معمولاً با فواصل باز در اتصالات برای جمع‌آوری و هدایت آب اضافی از خاک.

till- رسوبات یخچالی، خاک‌ورزی : ۱-مواد رسوبی یخچالی بدون لایه‌بندی که مستقیماً به‌وسیله‌ی یخ ته‌نشست‌شده و شامل رس، شن، سنگ‌ریزه و قطعه‌سنگ‌ها است که با هر نسبتی با هم ادغام شده‌اند. ۲-شخم زدن و آماده‌کردن زمین برای بذرپاشی، بذرکاری و کشت‌وکار در خاک.

tillage- خاک‌ورزی : دستکاری مکانیکی خاک به هر منظور، اما در کشاورزی معمولاً محدود به تغییر شرایط خاک برای تولید محصولات می‌باشد.

tillage,conservation- خاک‌ورزی حفاظتی: هر نوع عملیات خاک‌ورزی که سبب کاهش هدر رفت خاک و آب در مقایسه با خاک‌ورزی معمول می‌باشد شامل نظام‌های زیرین است:

minimum tillage- کمینه خاک‌ورزی : کمترین دستکاری لازم در خاک برای تولید محصولات و یا رفع نیازهای خاک‌ورزی در شرایط موجود خاک و اقلیم.

mulch tillage- **خاک‌ورزی پوششی** : خاک‌ورزی و آماده‌کردن خاک به‌طوری‌که پس‌مانده‌های گیاهی و سایر مواد برای پوشش سطح باقی بمانند، به آن کشت‌وکار خاکپوش[1]، کشت‌وکار پس‌مانده‌ها[2]، کشت‌وکار خاکپوش کلشی[3]، کشت‌وکار بدون شخم[4] نیز گفته می‌شود.

no tillage system- **نظام بدون خاک‌ورزی** : فرایندی که در آن نبات مستقیماً در یک بستر بذر که از هنگام برداشت محصول بعدی شخم نشده است کاشت می‌شود، به آن خاک‌ورزی صفر نیز گفته می‌شود.

plow-planting- **شخم – کشت**: شخم زدن و کاشت زمینی در مسیر رفت با کشیدن ادوات شخم و کشت به‌وسیله‌ی همان منبع نیرو

ridge till- **خاک‌ورزی پشته‌ای** : کشت بر روی پشته‌هایی که به‌وسیله‌ی خاک‌ورزی در طول فصل رشد قبلی ایجاد شده است.

sod planting- **کشت چمنی** : روش کشت در اراضی چمنی با خاک‌ورزی اندک یا بدون خاک‌ورزی.

strip till- **کشت نواری**: کشت در یک نوار باریک که مورد خاک‌ورزی قرارگرفته و مخلوط شده و بقیه‌ی سطح خاک دست‌نخورده باقی بماند.

subsurface tillage- **شخم زیرزمینی** : شخم با یک نوع گاوآهن پنجه‌غازی و یا تیغه‌ی خاص که از زیر سطح خاک کشیده می‌شود، سبب بریده‌شدن ریشه نباتات و سست‌کردن خاک بدون زیر و روکردن آن و یا بدون مخلوط‌کردن پس‌مانده‌های پوشش سطحی می‌باشد.

wheel-track planting- **کشت ردچرخی**: عملیاتی که در آن بذر بلافاصله در مسیرهایی که به‌وسیله‌ی چرخ‌های جلو بذرکار ایجاد شده‌اند کشت می‌شود.

tillage,conventional- **خاک‌ورزی مرسوم**: به عملیات اولیه و ثانویه شخم با هم اطلاق می‌گردد که معمولاً برای تهیه‌ی بستر بذر زراعت موردنظر در یک منطقه‌ی جغرافیایی انجام می‌شود.

tillage,primary- **خاک‌ورزی اولیه** : عملیات خاک‌ورزی که سبب عمده‌ترین دستکاری خاک معمولاً با گاوآهن می‌شوند.

tillage,rotary- **خاک‌ورزی دوار** : عملیاتی که به‌وسیله‌ی یک دندانه دوار برای سست‌کردن و مخلوط‌کردن خاک به‌وسیله‌ی نیروی ماشین انجام می‌شود.

tillage,secondary- **خاک‌ورزی ثانویه**: هرنوع عملیات خاک‌ورزی که بدنبال خاک‌ورزی اولیه به منظور آماده‌کردن یک بستر بذر رضایت‌بخش طراحی می‌شود.

tilth- **ورز خاک**: شرایط فیزیکی خاک در ارتباط با سهولت خاک‌ورزی، تناسب آن برای بستر بذر، و مقاومت آن در مقابل سربرآوردن گیاهچه و انتشار ریشه می‌باشد.

topdressing- **کود سرک دادن**: مصرف کود در خاک پس از استقرار نبات

toposequence- **خاک ردیف پستی‌وبلندی**: ردیف خاک‌های مربوطه که از یکدیگر عمدتاً به خاطر پستی و بلندی به‌عنوان عامل تشکیل خاک متفاوت می‌باشد.

topsoil- **خاک سطحی** : ۱ – لایه خاک که در کشت‌وکار جابه‌جا می‌شود surface soil را نیز مشاهده کنید. ۲ – مواد خاکی حاصلخیز که روی کناره‌ی جاده‌ها، باغچه‌ها و چمن‌ها پخش می‌شوند.

trace elements- (واژه‌ی فراموش‌شده) **عناصر کم‌مصرف**: به micronutrients مراجعه کنید.

trioctahedral- **۸ وجهی سه‌تایی**: یک صفحه ۸ وجهی رس‌های سیلیکاتی که در آن‌ها محل پیوند اتم‌های فلزی عمدتاً به‌وسیله‌ی کاتیون‌های دوظرفیتی مانند منیزیم پر شده است.

truncated- **رو رفته، بریده شده** : تمام و یا بخشی از افق و یا افق‌های سطحی خاک از دست رفته باشد.

tuff- **خاکستر آتشفشانی** : خاکستر آتشفشانی که کم‌وبیش لایه‌بندی شده و در مراحل مختلف صلب‌شدن قرار دارد.

tundra- **توندرا** : یک دشت مسطح و یا با پستی و بلندی جزیی که ویژه‌ی مناطق قطبی می‌باشد.

Ultisols- **راسته‌ی آلتی‌سول‌ها** : به soil classification مراجعه کنید.

umbric epipedon- **افق سطحی آمبریک** : به diagnostic surface horizon مراجعه کنید.

---

1 -mulch farming
2 -trash,farming
3 -stubble mulch tillage
4 -plowless farming

universal soil loss equation (USLE)- معادله‌ی جهانی هدررفتن خاک : معادله‌ای برای برآورد فرسایش متوسط سالانه خاک در واحد سطح به صورت A=RKLSCP که در آن R عامل فرسایندگی اقلیم (بارندگی به اضافه رواناب)، K عامل فرسایش پذیری خاک، L عامل طول شیب، S عامل درصد شیب، P عامل عملیات حفاظت خاک و C عامل کشت‌وکار و مدیریت می‌باشند.

unsaturatod flow- جریان غیراشباع : حرکت آب در خاکی که منافذ آب کاملاً از آب پر نشده است.

vadose zone- منطقه خشکه: منطقه هوادار خاک در بالای یک سطح ایستابی دایم.

value(color)- ارزش رنگ : به Munsell color system مراجعه کنید.

variable charge- بار متغیر : به pH-depended charge مراجعه کنید.

varnish,desert- جلای بیابانی : درخشش شیشه‌ای و یا پوششی احتمالاً از آهن و منگنز بر روی سنگ‌ها و سنگ‌ریزه در مناطق بیابانی.

vermiculite- ورمی‌کولیت : رس سیلیکاتی ۱ : ۲ که معمولاً از میکا تشکیل شده و دارای بار خالص منفی زیادی می‌باشد که عمدتاً از جانشینی هم‌شکل آلومینیوم به جای سیلیس در صفحه‌ی چهاروجهی ناشی شده است.

Vertisols- راسته‌ی ورتی‌سول‌ها : به soil classification مراجعه کنید.

vesicles- ریز حفره، ریز کیسه : ۱ منافذ ناپیوسته با دیواره‌های صاف ۲- ساختارهای کروی که در اخل یاخته‌های ریشه به‌وسیله‌ی قارچ ریشه‌ی و زیکولار - اربسکولار تشکیل شده است.

vesicular arbuscular mycorrhiza- قارچ ریشه‌ی وزیکولار اربسکولار: تجمع قارچ ریشه‌ی داخلی معمولی که به‌وسیله‌ی قارچ‌های فیکومیست ایجاد شده و با توسعه‌ی دو نوع ساختار قارچی مشخص می‌شوند ۱- ساختار کوچک در داخل یاخته‌ی ریشه‌ها که آربسکول نام دارد ۲- اندام‌های ذخیره‌ای در بین یاخته‌های ریشه که ویزیکول نامیده می‌شود. گیاهان میزبان شامل بسیاری از محصولات زراعی و باغی می‌باشند. به endomycorrhizaنیز مراجعه کنید.

virgin soil- خاک بکر : خاکی که از حالت طبیعی خود به‌طور عمده مورد دستکاری قرار نگرفته است.

waterlogged- مانداب : از آب اشباع شده یا نزدیک به اشباع.

water potential,soil- پتانسیل آب خاک : به soil water potential مراجعه کنید.

watershed- حوزه‌ی آبخیز : تمامی اراضی و آب‌های واقع در یک محدوده‌ی جغرافیایی با خطوط تقسیم آب و یا ارتفاعات پیرامون آن که محدوده را از آبخیزهای مجاور جدا می‌سازند.

water-stable aggregate- خاکدانه‌های پایدار در آب : خاکدانه‌های که در مقابل عمل آب مانند افتادن قطرات و در الک‌کردن تر پایدار می‌باشند.

water table- سطح ایستابی : سطح بالایی اب تحت‌الارض و یا سطحی که زیر آن خاک از آب اشباع می‌باشد.

water table,perched- سطح ایستابی آویزان : سطح منطقه‌ی اشباع محلی که در بالای آب زیرزمینی اصلی به‌وسیله‌ی یک لایه غیرقابل نفوذ معمولاً رسی نگهداری می‌شود و از آب زیرزمینی اصلی به وسیله یک منطقه غیراشباع جدا می‌گردد.

water use efficiency- بازده‌ی مصرف آب : میزان ماده خشک و یا بخش قابل برداشت محصول تولید شده در واحد آب مصرف شده.

weathering- هوا دیدگی: تمام تغییرات فیزیکی و شیمیایی صورت گرفته در سنگ‌ها در و یا نزدیکی سطح زمین به‌وسیله‌ی عوامل اقلیمی.

wetland- اراضی باتلاقی : پهنه‌ای از اراضی که دارای خاک‌های مرطوب و نباتات آب‌دوست بوده و به طور شاخص در بخشی از سال به‌صورت غرقابی بوده و یک منطقه انتقالی را در بین نظام‌های آبی و زمینی تشکیل می‌دهند.

wetting front- جبهه‌ی رطوبتی : مرز بین خاک خیس و خاک خشک در طول فرایند نفوذ آب در خاک.

wilting point (permanent wilting point)- نقطه پژمردگی دایم : میزان رطوبت خاک براساس وزن خشک اتو که در آن نبات دچار پژمردگی دایم شده و شادابی آن درصورت قرارگرفتن در محیط تاریک مرطوب قابل‌برگشت نمی‌باشد.

windbreak- باد شکن : کشت درختان، بوته‌ها و یا سایر پوشش گیاهی عمود و یا نسبتاً عمود بر مسیر اصلی باد برای حفظ خاک، نبات، منازل و غیره در مقابل باد و برف.

Xenobiotic- زیست بیگانه : ترکیباتی که در نظام‌های زیستی بیگانه می‌باشند. اغلب به ترکیباتی اطلاق می‌شود. که در مقابل تجزیه مقاوم می‌باشند.

xerophytes- گیاهان خشکی‌زی، گیاهان خشکی‌پسند : نباتاتی که در خاک‌های فوق‌العاده خشک رشد می‌کنند.

xero tillage- صفر خاک‌ورزی : به tillage, conservation مراجعه کنید.

zeta potential- پتانسیل زتا : به electrokinetic مراجعه کنید.

zymogenous organism- موجودات فرصت‌طلب : موجوداتی که پس از اضافه‌کردن مواد آلی قابل‌تجزیه به تعداد بسیار زیاد در خاک پیدا می‌شوند.

منابع مورد استفاده فصول مختلف

فصل اول: خاک ها در پیرامون ما

Tan, K. H., and 0. Nopamombodi. 1981. "Electron microbeam analysis and scanning electron microscopy of soil-root interfaces," Soil Sci., 131:100-106.

فصل دوم: تشکیل خاک ها از مواد مادری

Boul, S. W., F. D. Hole, R. J. McCraken, and R. J. Southard. 1997. Soil Genesis and Classification, 4th ed. (Ames, Iowa: Iowa State University Press).

Fanning, D. S„ and C. B. Fanning. 1989. Soil: Morphology, Genesis, and Classification. (New York: John Wiley and Sons).

Haering, K. C., W. L. Daniels, andJ. A. Roberts. 1993. "Changes in mine soil properties resulting from overburden weathering,"J. Environ. Quality 22:194-200.

Jackson, M. L. 1964. "Chemical composition of soils," in E E. Bear (ed.), Chemistry of the Soil, 2nd ed. (New York: Reinhold).

Jenny, Hans. 1941. Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology, (originally published by McGraw-Hill; Mineola, N.Y.: Dover).

Jenny, Hans. 1980. The Soil Resource—Origins and Behavior. Ecological Studies, vol. 37. (New York: Springer-Verlag).

Logan, William Bryant. 1995. Dirt: The Ecstatic Skin of the Earth. (New York: Riverhead Books).

Miller, F. P. 1976. Maryland Soils Bulletin 212. (College Park, Md.: University of Maryland Cooperative Extension Service).

National Science Foundation. 1975. "All that unplowed land," Mosaic, 6:17-21. (Washington, D.C.: National Science Foundation).

Petersen, G. W., R. L. Cummingham, and R. P. Matelski. 1971. "Moisture characteristics of Pennsylvania soils: III. Parent material and drainage relationships," Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 35:115-119.

Simonson, R. W. 1958. "Outline of a generalized theory of soil genesis," Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 22:152-156.

Soil Survey Division Staff. 1993. Soil Survey Manual. Agricultural Handbook 18. (Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office).

Soil Survey Staff. 1996. Keys to Soil Taxonomy, 7th ed. (Washington, D.C.: USDA Natural Resources Conservation Service).

فصل سوم: طبقه‌بندی خاک‌ها

Coulombe, C. E., L. P. Wilding, and J. B. Dixon. 1996. "Overview of Vertisols: Charac teristics and impacts on society," Advances in Agronomy, 17:289-375.

Eswaran, H. 1993. "Assessment of global resources: Current status and future needs', Pedologie, 43(l):19-39.

McCracken, R. J., et al. 1985. "An appraisal of soil resources in the USA," in R. F Follet and B. A. Stewart (eds.), Soil Erosion and Crop Productivity. (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron.).

Riecken, F. F., and G. D. Smith. 1949. "Principal upland soils of Iowa, their occurrence and important properties," Agron., 49 (revised). Iowa Agr. Exp. Sta.

SSSA. 1984. Soil Taxonomy, Achievements and Challenges. SSSA Special Publication no. 14. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).

Soil Survey Staff. 1975. Soil Taxonomy: A Basic System ofSoil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. (Washington, D.C.: USDA Natural Resources Conservation Service).

Soil Survey Staff. 1999. Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys, 2nd ed. (Washington, D.C.: USDA Natural Resources Conservation Service).

Soil Survey Staff. 1998. Keys to Soil Taxonomy. (Washington, D.C.: USDA Natural Resources Conservation Service).

فصل چهارم: مهرازی خاک و خصوصیات فیزیکی

Bigham, J. M., and E. J. Ciolkosz (eds.). 1993. Soil Color. SSSA Special Publication no. 31. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Of Amer.) 172 pp.

Brewer, R. 1964. Fabric and Mineral Analysis of Soils. (New York: John Wiley and Sons).

Camp, C. R., and J. F. Lund. 1964. "Effects of soil compaction on cotton roots," Crops and Soils, 17:13-14.

Emerson, W. W., R. C. Foster, and J. M. Oades. 1986. "Organomineral complexes in relation to soil aggregation and structure," in P. M. Huang and M. Schnitzer (eds.), Interaction of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes. SSSA Special Publication no. 17. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).

Faulkner, E. H. 1943. Plowman's Folly (Norman, Okia.: University of Oklahoma Press).

Gent, J. A., Jr., and L.A, Morris. 1986. "Soil compaction from harvesting and site preparation in the Upper Gulf Coastal Plain," Soil Sci. Soc. Amer. J., 50:443-446.

Gent, J. A., Jr., R. Ballard, A. E. Hassan, and D. K. Cassel. 1984. "Impact of harvesting and site preparation on physical properties of Piedmont forest soils," Soil Sci. Soc. Amer. J., 48:173-177.

Hammel, J. E., M. E. Summer, and J. Burema. 1983. "Atterberg limits as indices of external areas of soils," Soil Sci. Soc. Amer. J., 47:1054-1056.

Laws, W. D., and D. D. Evans. 1949. "The effects of long-time cultivation on some physical and chemical properties of two rendzina soil," Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 14:15-19.

Le Bissonnais, Y., and D. Arrouays. 1997. "Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: II. Application to humic loamy soils with various organic carbon contents," European J. Soil Sci., 48:39-48.

Lyon, T. L., H. O. Buckman, and N. C. Brady. 1952. The Nature and Properties of Soils, 5th ed. (New York: Macmillan), p. 60.

McCarthy, D. F. 1993. Essentials of Soil Mechanics and Foundations, 4th ed. (Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall).

McNabb, D. H. 1979. "Correlation of soil plasticity with amorphous clay constituents," Soil Sci. Soc. Amer. J., 46:450-456.

Mitchell, A. R. 1986. "Polyacrylamide application in irrigation water to increase infiltration," Soil Sci., 141:353-358.

Oades, J. M. 1993. "The role of biology in the formation, stabilization, and degradation of soil structure," Geoderma, 56:377-400.

O'Nofiok, O., and M. J. Singer. 1984. "Scanning electron microscope studies of surface crusts formed by simulated rainfall," Soil Sci. Soc. Amer. J., 48:1137-1143.

Parker, M. M., and D. H. Van Lear. 1996. "Soil heterogeneity and root distribution of mature loblolly pine stands in Piedmont soils," Soil Sci. Soc. Amer. J., 60:1920-1925.

Soil Survey Division Staff. 1993. Soil Survey Manual. USDA-NRSC Agricultural Handbook 48. (Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office), pp. 174-175.

Tiessen, H.,J. W. B. Stewart, and J. R. Bettany. 1982. "Cultivation effects on the amounts and concentration of carbon, nitrogen, and phosphorus in grassland soils," Agron. J., 74:831-835.

Tisdall, J. M. 1994. "Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils," Plant and Soil, 159:115-121.

Tisdall, J. M., and J. M. Oades. 1982. "Organic matter and water-stable aggregates in soils," J. Soil Sci., 33:141-163.

Unger, P. W., and T. C. Kaspar. 1994. "Soil compaction and root growth: A review," Agron. J., 86:759-766.

U.S. Department of Interior Teton Dam Failure Review Group. 1977. failure of Teton Dam. Stock no. 024-003-00112-1. (Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office).

Vimmerstadt, J., F. Scoles, J. Brown, and M. Schmittgen. 1982. "Effects of use pattern, cover, soil drainage class, and overwinter changes on rain infiltration on campsites," J. Environ. Qual., 11:25-28.

Voorhees, W. B. 1984. "Soil compaction, a curse or a cure?" Solutions, 28:42-47 (Peoria, Ill.: Solutions Magazine Inc.).

Warkentin, B. P. 1961. "Interpretation of the upper plastic limits of clays," Nature, 190:287-288.

Weil, R. R., and W. Kroontje. 1979. "Physical condition of a Davidson clay loam after 5 years of heavy poultry manure applications," J. Environ. Qual., 8:389-392.
Wilson, H. A., R. Gish, and G. M. Browning. 1947. "Cropping systems and season as factors affecting aggregate stability," Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 12:36-43.
Wright, D. L., F. M. Rhoads, and R. L. Stanley, Jr. 1980. "High level of management needed on irrigated corn," Solutions, May/June: 24-36 (Peoria, Ill.: Solutions Magazine Inc.).

فصل پنجم: آب خاک، خصوصیات و رفتار

Bowen, G. D. 1985. "Roots as components of tree productivity," in M. G. R. Cannell and J. E. Jackson (eds.), Attributes of Trees as Crop Plants. (Midlothian, Scotland: Institute of Terrestrial Ecology).
Brown, E. A., C. E. Caviness, and D. A. Brown. 1985. "Response of selected soybean cultivars to soil moisture deficit," Agron. J., 77:274-278.
Cooney, J. J., and J. E. Peterson. 1955. Avocado Irrigation. Leaflet 50. California Agricultural Extension Service.
Da Silva, A. P., and B. D. Kay. 1997. "Estimating the least limiting water range of soil from properties and management," Soil Sci. Soc. Amer. J., 61:877-883.
DeMartinis, J. M., and S. C. Cooper. 1994. "Natural and man-made modes of entry in agronomic areas," in R. Honeycutt and D. Schabacker (eds.), Mechanisms of Pesticide Movement in Ground Water. (Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers), pp. 165-175.
Gardner, W., and J. A. Widtsoe. 1921. "The movement of soil moisture," Soil Sci., 11:230.
Hamza, M., and L. A. G. Aylmore. 1992. "Soil solute concentrations and water uptake by single lupin and radish plant roots: 1. Water extraction .and solute accumulation," .Plant Soil,145:187-196.
Hillel, D., 1998. Environmental Soil Physics. Orlando, Fl: Academics Press, 500pp.
Huck, M. G., B. Klepper, and H. M. Taylor. 1970. "Diurnal variations in root diameter," Plant Physiol., 45:529.
Hudson, B. D. 1994. "Soil organic matter and available water capacity," J. Soil and Water Cons., 49:189-194.
MacFall, J. S., and G. A. Johnson. 1994. "Use of magnetic resonance imaging of plants and soils," in S. H. Anderson and J. W. Hopmans (eds.), Tomography of Soil-Water-Root Processes. SSSA Special Publication no. 36. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.), pp. 99-113.
Mayaki, W. C., L. R. Stone, and I. D. Teare. 1976. "Irrigated and nonirrigated soybean, corn, and grain sorghum root systems," Agron. J., 68:532-534.
Richards, L. A. 1965. "Physical condition of water in soil," in Agronomy 9: Methods of Soil Analysis, Part 1. (Madison, Wis.: American Society of Agronomy).
Waddell, J. T. and Weil, R. R. 1996. "Water distribution in soil under ridge-till and notill corn," Soil Sci. Soc. Amer. J., 60:230-237.

فصل ششم: خاک و چرخه‌ی هیدرولوژی

Aboukhaled, A., A. Alfaro, and M. Smith. 1982. Lysimeters. FAO Irrigation and Drainage Paper 39. (Rome: U.N. Food and Agriculture Organization).
Alegre, J. C., D. K. Cassel, and D. E. Bandy. 1986. "Effects of land clearing and subsequent management on soil physical properties," Soil Sci. Soc. Amer. J., 50:1379-1384.
Alien, R. G., T. A. Howell, W. 0. Pruitt, W. 1. Walter, and M. E. Jensen (eds.). 1991. Lysimeters for Evapotranspiration and Environmental Measurements. (New York: Am. Soc. Civ. Eng.).
Beauchamp, K. H. 1955. "Tile drainage—its installation and upkeep," The Yearbook of Agriculture (Water). (Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture), p. 513.
Black, A. L. 1982. "Long-term N-P fertilizer and climate influences on morphology and yield components of spring wheat," Agron. J., 74:651-57.
CAST. 1988. Effective Use of Water in Irrigated Agriculture. Task Force Report no. 113. (Ames, Iowa: Council for Agricultural Science and Technology).
CAST. 1996. Future of Irrigated Agriculture. Task Force Report no. 127. (Ames, Iowa: Council for Agricultural Science and Technology).
Dreibelbis, F. R., and C. R. Amerman. 1965. "How much topsoil moisture is available to your crops?," Crops and Soils, 17:8-9.
Fouss, J. L. 1974. "Drain tube materials and installation," in J. Van Schilfgaarde (ed.), Drainage forAgriculhire. Agronomy Series no. 17. (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron.), pp. 147-177.

Greb, B. W. 1983. "Water conservation: Central Great Plains," in H. E. Dregue and W. 0. Willis (eds.), Dryland Agriculture. Agronomy Series no. 23. (Madison, Wis.: Amer. Soc. of Agron.).
Haynes, J. L. 1954. "Ground rainfall under vegetative canopy of crops' J. Amer. Soc. Agron., 46:67-94.
Hillel, D. 1980. Applications of Soil Physics. (New York: Academic Press).
Hillel, D. 1995. The Rivers of Eden (New York: Oxford University Press).
Hillel, D. 1997. Small-Scale Irrigation for Arid Zones. FAO Development Series 2. (Rome: U.N. Food and Agriculture Organization).
Hughes, H. S. 1980. Conservation Farming. (Mollne, III.: John Deere and Company).
Jury, W. A., and H. Fluhler. 1992. "Transport of chemicals through soil: Mechanisms, models, and field applications," Advances in Agronomy, 47:141-201.
Kittridge, J. 1948. Forest Influences: The Effects of Woody Vegetation on Climate, Water and Soil. (New York: McGraw-Hill).
Kuylenstierna, J. L., G. Björklund, and P. Najlis. 1997. "Future sustainable water use: Challenges and constraints," J. Soil Water Conserv., 52:151-156.
Linde, D. T., T. L. Watschke, A. R.Jarrett, andJ. A. Borger. 1995. "Surface runoff assessment from creeping bent grass and perennial ryegrass turf," Agron. J., 87:176-182.
Lyon, T. L., H. 0. Buckman, and N. C. Brady. 1952. The Nature and Properties of Soils, 5th ed. (New York: Macmillan).
Pruitt, W. 0., F. J. Lourence, and S. Von Oettingen. 1972. "Water use by crops as affected by climate and plant factors," California Agriculture, 26:10-14.
Ritchie, J. T. 1983. "Efficient water use in crop production: Discussion on the generality of relations between biomass production and evapotranspiration," in H. M. Taylor, et al. (eds.), Limitations to Efficient Water Use in Crop Production. (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron., Crop Sci. Soc. Amer., Soil Sci. Soc. Amer.).
Starrett, S. K., N. E. Christians, and T. Al Austin. 1996. "Movement of pesticides under two irrigation regimes applied to turfgrass," J. Environ. Qual„ 25:566-571,
Soil Survey Staff. 1993. National Soil Survey Handbook. Title 430-VI. (Washington, D.C.: USDA Natural Resources Conservation Service).
UNDP/WMO. 1974. Hydrometeorological Survey of the Catchments of Lakes Victoria, Kyoja, and Albert. Project RAF 66/025 (4 vols.), pp. 498-509.
USDA 1974. Summer Fallow in the Western United States. Cons. Res. Rep. no. 17. (Washington, D.C.: USDA Agricultural Research Service).
Waddell, J., and R. Weil. 1996. "Water distribution in soil under ridge-till and no-till corn," Soil Sci. Soc. Amer. J., 60:230-237.

فصل هفتم: تهویه و دمای خاک

Arshad, A., and R. H. Azooz. 1996. "Tillage effects on soil thermal properties in a semiarid cold region," Soil Sci. Soc. Am. J., 60:561-567.
Bartlett, R. J„ and B. R. James. 1993. "Redox chemistry of soils," Advances in Agronomy, 50:151-208.
Beard, J. B. and R. L. Green. 1994. "The role of turfgrasses in environmental protection and their benefits to humans," J. Environ. Qual., 23:452-460.
Buyanovsky, G. A., and G. H. Wagner. 1983. "Annual cycles of carbon dioxide level in soil air," Soil Sci. Soc. Amer. J., 47:1139-1145.
CAST. 1994. Wetland Policy Issues. Publication no. CC1994-1. (Ames, Iowa: Council for Agricultural Science and Technology).
Davidson, E. A., and S. E. Trumbore. 1995. "Gas diffusivity and production of CO_2 in deep soils of the eastern Amazon," Tellus, 47B:550-565.
Dryness, C. T. 1976. "Effects of wildfire on soil wetability in the high cascades of Oregon," USDA Forest Service Research Paper PNW-202. (Washington, D.C.; USDA).
Eswaren, H., P. Reich, P. Zdruli, and T. Levermann. 1996. "Global distribution of wetlands," Amer. Soc. Agron. Abstracts, 328.
Fluker, B.J. 1958. "Soil temperature," Soil Sci., 86:35-46.
Hurt, G. W., P. M. Whited, and R. F. Pringle (eds.). 1996. Field Indicators of Hydric Soils in the United States. (Fort Worth, Tex.: USDA Natural Resources Conservation Service).
McBride, M. B. 1994. Environmental Chemistry of Soils. (New York: Oxford University Press).

Meek, B. D., and L. B. Grass. 1975. "Redox potential in irrigated desert soils as an indicator of aeration status," Soil Sci. Soc. Amer. J., 39:870-875.
Meek, B. D., E. C. Owen-Bartlett, L. H. Stolzy, and C. K. Labanauskas. 1980. "Cotton yield and nutrient uptake in relation to water table depth," Soil Sci. Soc. Amer. J., 44:301-305.
Merrill, S. D., A. L. Black, and A. Bauer. 1996. "Conservation tillage affects root growth of dryland spring wheat under drought," Soil Sci. Soc. Am. J., 60:575-583.
Patrick, W. H., Jr. 1977. "Oxygen content of soil air by a field method," Soil Sci. Soc. Amer. J., 41:651-652.
Patrick, W. H. Jr., and A. Jugsujinda. 1992. "Sequential reduction and oxidation of inorganic nitrogen, manganese, and iron in flooded soil," Soil Sci. Soc. Amer. J., 56:1071-1073.
Rabenhorst, M. C., J. Bell, and P. McDaniel (eds.). 1998. Quantifying Soil Hydromorphology. Special Publication 54. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).
Rykbost,K. A.,L.Boersma,J.J. Mack, and W.E. Schmisseur. 1975. "Yield response to soil warming: Vegetable crops," Agron. J., 67:738-743.
Sellers, P., R. Dickinson, D. Randall, K. Betts, F. Hall, J. Berry, G. Collatz, A. Denning, H. Mooney, C. Nobre, N. Sato, C. Field, and A. Henderson-Sellers. 1997. "Modeling the exchange of energy, water, and carbon between continents and the atmosphere," Science, 275:502-509.
Sexstone, A. J., et al. 1985. "Direct measurement of oxygen profiles and denitrification rates in soil aggregates," Soil Sci. Soc. Amer. J., 49:645-651.
Tiarks, A. E., W. H. Hudnall, J. F. Ragus, and W. B. Patterson. 1996. "Effect of pine plantation harvesting and soil compaction on soil water and temperature regimes in a semi-tropical environment," in A. Schulte and D. Ruhiyat (eds.), Proceedings of international Congress on Soils of Tropical Forest Ecosystems 3rd Conference on Forest Soils: Vol. 3, Soil and Water Relationships. (Samarinda, Indonesia: Mulawarmon University Press).
Tindall, J. A., R. B. Beverly, and D. E. Radcliff. 1991. "Mulch effect on soil properties and tomato growth using micro-irrigation," Agron. J., 83:1028-1034.
Trettin, C. C., M. Davidian, M. F. Jurgensen, and R. Lea. 1996. "Organic matter decomposition following harvesting and site preparation of a forested wetland," Soil Sci. Soc. Am. J., 60:1994-2003.
Unger, P. W. 1978. "Straw mulch effects on soil temperatures and sorghum germination and growth," Agron. J., 70:858-864.
Veneman, P. L. M., D. L. Lindbo, and L. A. Spoks. 1998. "Soil moisture and redoximorphic features: A historical perspective," in M. J. Rabenhorst (ed.), TITLE. Spec. Publ. Quantifying Soil Hydromorphology. Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).
Welsh, D., D. Smart, J. Boyer, P. Minkin, H. Smith, and T. McCandless (eds.). 1995. Forested Wetlands: Functions, Benefits, and Use of Best Management Practices. (Radnor, Pa.: USDA Forest Service).
Yavitt,J.B.,T.J.Fahley,andJ.A.Simmons. 1995. "Methane and carbon dioxide dynamics in a northern hardwood ecosystem," Soil. Sci. Soc. Am. J., 59:796-804.

فصل هشتم: کلوییدهای خاک، رفتار و اهمیت عملی

Bellini, G., M. E. Sumner, D. E. Radcliffe, and N. P. Qafoku. 1996. "Anion transport through columns of highly weathered acid soil: Adsorption and retardation," Soil Sci. Soc. Amer. J., 60:132-137.
Buseck, P. R. 1983. "Electron microscopy of minerals," Amer. Scientist, 71:175-185.
Coleman, N. T., and A. Mehlich. 1957. "The chemistry of soil pH," in The Yearbook of Agriculture (Soil). (Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture).
Dixon, J. B., and S. B. Weed. 1989. Minerals in Soil Environments, 2d ed. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).
Helling, C. S., et al. 1964. "Contribution of organic matter and clay to soil cation exchange capacity as affected by the pH of the saturated solution," Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 28:517-520.
Holmgren, G. G. S., M. W. Meyer, R. L. Chaney, and R. B. Daniels. 1993. "Cadmium, lead, zinc, copper, and nickel in agricultural soils in the United States of America," J. Environ. Qual., 22:335-348.
Parker, J. C., D. E Amos, and L. W. Zeianzny. 1982. "Water adsorption and swelling of clay minerals in soil systems," Soil Sci. Soc. Amer. J„ 46:450-456.
Reid, D. A. and A. L. Ulery. 1998. "Environmental applications of smectites," in J. Dixon, D. Schultze, W. Bleam, andJ. Amonette (eds.), Environmental Soil Mineralogy. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).

Seybold, C. A., and W. Mersie. 1996. "Adsorption and desorption of atrazine, deethylatrazine, deisopropylatrazine, hydroxyatrazine, and metolachlor in two soils in Virginia," J. Environ. Qual., 25:1179-1185.
Shamshuddin, J„ and H. Ismail. 1995. "Reactions of ground magnesium limestone and gypsum in soils variable-charged minerals," soil Sci.Soc.Amer.J.,59:106-112.

فصل نهم: واکنش خاک، اسیدیته و قلیاییت

Adams, F., and Z. F. Lund. 1966. "Effect of chemical activity of soil solution aluminum on cotton root penetration of acid subsoils," Soil Sci., 101:193-198.
Barber, S. A. 1984. "Liming material and practices," in F. Adams (ed.), Soil Acidity and Liming, 2d ed. (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron.)
Blevens, R. L., G. W. Thomas, M. S. Smith, W. W. Frye, and P. L. Cornelius. 1983. "Changes in soil properties after 10 years continuuous non-tilled and conventionally tilled corn," Soil Tillage Res., 3:135-146.
de la Fuente, et al. 1997. "Aluminum tolerance in transgenic plants by alteration of citrate synthesis," Science, 276:1566-1568.
Farina, M. P. W., and P. Channon. 1988. "Acid subsoil amelioration: II. Gypsum effects on growth and subsoil chemical properties," Soil Sci. Soc. Amer. J., 52:175-180.
Hargrove, W. L., and G. W. Thomas. 1981. "Effect of Organic matter on exchangeable aluminum and plant growth in acid soils," In Chemistry in the Soil Environment. ASA Special Publication no. 40. (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Amer.).
Helling, C. S., G. Chesters, and H. B. Corey. 1964. "Contributions of organic matter and clay to soil cation exchange capacity as affected by pH of the saturating solution," Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 28:517-520.
Hinsinger, P., and R. J. Gilkes. 1996. "Mobilization of phosphate from phosphate rock and alumina-sorbed phosphate by the roots of ryegrass and clover as related to rhizosphere pH," European J. Soil Sci., 47:523-532.
Jenny, H., et al. 1968. "Interplay of soil organic matter and soil fertility with state factors and soil properties, " in Organic Matter and Soil Fertility. Pontificiae Academia Scientiarum Scripta Varia 32. (New York: Wiley).
Joslin, J. D., J. M. Kelly, and H. van Miegroet. 1992. "Soil chemistry and nutrition of North American spruce-fir stands: Evidence for recent change," J. Environ. Qual., 21:12-30.
Knoepp, J. D., and W. T. Swank. 1994. "Long term soil chemistry changes for aggrading forest systems," Soil Sci. Soc. Amer. J., 58:325-331.
Likens, G. E., C. T. Driscoll, and D. C. Buso. 1996. "Longterm effects of acid rain: Response and recovery of a forest ecosystem," Science, 272:244-246.
Magdoff. F. R., and R. J. Barlett. 1985. "Soil pH buffering revisited," Soil Sci. Soc. Amer. J., 49:145-148.
Mehiich, A. 1964. "Influence of adsorbed hydroxyl and sulfate on neutralization of soil acidity," Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 28:492-496.
Noble, A. D., M. E. Sumner, and A. K. Alva. 1988. "The pH dependency of aluminum phytotoxicity alleviation by calcium sulfate," Soil Sci. Soc. Amer. J., 52:1398-1402.
Robarge, W. P., and D. W. Johnson. 1992. "The effects of acidic deposition on forested soils," Advances in Agronomy, 47:1-84.
Robertson, W. K., M. C. Lutrick, and T. L. Yuan. 1982. "Heavy applications of liquiddigested sludge on three Ultisols: I. effects on soil chemistry," J. Environ. Qual., 11:278-282.
Ronse, A., L. De Temmerman, M. Guns, and R. De Borger. 1988. "Evaluation of acidity, organic matter content and CEC in uncultivated soils of Northern Belgium during the past 25 years," Soil Sci., 146:453-460.
Schollenberger, C. J., and R. M. Salter. 1943. "A chart for evaluating agricultural limestone," J. Amer. Soc. Agron., 35:995-966.
Shoemaker, H. E., E. 0. McLean and P. F. Pratt. 1961. "Buffer methods for determining lime requirements of soils with appreciable amounts of extractable aluminum," Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 25:274-277.
Smyth, T. J., and M. S. Cravo. 1992. "Aluminum and calcium constraints to continuous crop production in a Brazilian Amazon Oxisol," Agron. J., 84:843-850.
Springett, J. A. 1983. "Effect of five species of earthworms on some soil properties," J. Applied Ecol., 20:865-872.

Sumner, M. E. 1993. "Gypsum and acid soils: The world scene," Advances in Agronomy, 51:1-32.
Tran, T. S., and W. van Lierop. 1981. "Evaluation and improvement of buffer-pH lime requirement methods," Soil Sci., 131:178-188.
U.S./Canada Work Group No. 2. 1982. Atmospheric Science and Analysis. Final report; H. L. Ferguson and L. Machita (Co-chairmen). (Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency).
National Research Council. 1983. Acid deposition: Atmospheric Processes in Eastern North America. Washington, DC: National Research Council.

فصل دهم: خاک‌های قلیایی و تحت تأثیر نمک و مدیریت آن‌ها

Banuelos, G. S., H. A. Ajwa, B. Mackey, L. Wu, C. Cook, S. Akohoue, and S. Zambruzuski. 1997. "Evaluation of different plant species used for phytoremediation of high selenium," J. Envir. Qual., 26:639-648.
Barzegar, A. R., J. M. Oades, and P. Rengasamy. 1996. "Soil structure degradation and mellowing of compacted soils by saline-sodic solutions," Soil Sci. Soc. Amer. J., 60:583-588.
Beek, K. L., W. A. Blokhuis, P. M. Driessen, N. Van Breeman, N. Brinkman, and L.J. Pons. 1980. "Problem soils: Their reclamation and management," in ILRI Publication no. 27, (Wageningen, Netherlands: ILRI), pp. 47-72.
Bresler, E., B. L. McNeal, and D. L. Carter. 1982. Saline and Sodic Soils, Principles—Dynamics—Modeling. (Berlin: Springer-Verlag).
Carter, D.L. 1981. "Salinity and plant productivity," in CRC Handbook Series in Nutrition and Food, (Boca Raton, Fla.: CRC Press).
Crescimanno, G., M. lovino, and G. Provenzano. 1995. "Influence of salinity and sodicity on soil structural and hydraulic characteristics," Soil Sci. Soc. Am. J., 59:1701-1708.
Ilyas, M., R. W. Miller, and R. H. Qureski. 1993. "Hydraulic conductivity of saline-sodic soil after gypsum application," Soil Sci. Soc. Amer. J., 57:1580-1585.
Maas, E. U. 1984. "Crop tolerance," Calif. Agric., 38:20-21.
National Academy of Sciences. 1990. Saline Agriculture: Salt TolerantPlants for Developing Countries. (Washington, D.C.: National Academy Press).
Nolan, B. T., and M. L. Clark. 1997. "Selenium in irrigated agricultural areas of the western United States," J. Envir. Qual., 26:849-857.
Retana, J., D. R. Parker, C. Arnrhein, and A. L. Page. 1993. "Growth and trace element concentrations of 5 plant species grown on a highly saline soil," J. Environ. Qual., 22:805-811.
Rhoades, J. D. 1993. "Electrical conductivity methods for measuring and mapping soil salinity," Advances in Agronomy, 49:201-251.
Rhoades, J. D., and D. L. Corwin. 1984. "Monitoring soil salinity," J. Soil and Water Cons., 39:172-175.
Rowell, D. L. 1988. "Soil acidity and alkalinity," in A. Wild (ed.), Russell's Soil Condition and Plant Growth, 11th ed. (New York: Longman Scientific and Technical/Wiley).
Royo, A., and R. Aragues. 1993. "Validation of salinity crop production functions obtained with the triple line source sprinkler system," Agron J., 85:795-800.
USDA. 1996. Americas Private Land: A Geography of Hope. (Washington, D.C.: USDA Natural Resources Conservation Service).
Zahow, M. F., and C. Amrhein. 1992. "Reclamation of a saline sodic soil using synthetic polymers and gypsum," Soil Sci. Soc. Amer. J., 56:1257-1260.

فصل یازدهم: موجودات زنده و بوم‌شناسی خاک‌ها

Beare, M. H. 1997. "Fungal and bacterial pathways of organic matter decomposition and nitrogen mineralization in arable soils," in L. Brussaard and R. Ferrera-Cerrato, Soil Ecology in Sustainable Agricultural Systems. (Boca Raton, Fla: Lewis Publishers).
Bethlenfalvay, G. J., and R. G. Linderman (eds.). 1992. Mycorrhizae in Sustainable Agriculture. ASA Special Publication no. 54. (Madison, Wis.: Amer. Soc. ofAgron.).
Chino, M. 1976. "Electron microprobe analysis of zinc and other elements within and around rice root growth in flooded soils," Soil Sci. and Plant Nut. J., 22:449.
de Vleeschauwer, D., and R. Lal. 1981. "Properties of worm casts under secondary tropical forest regrowth, So;; Sci., 132:175-181.

Edwards, C. (ed.). 1998. Earthworm Ecology. (Delray Beach, Fla: St. Lucie Press).
Fitzmaurice, L. 1995. "Giving Rhizobiurn the competitive edge," Wisconsin Bioissues, 6:17.
Gilbert, G. S.,J. Handelsman, and J. L. Parke. 1994. "Root camouflage and disease control," Phytopathology, 84:222-225.
Hendrix, P. F. (ed.). 1995. Earthworm Ecology and Biogeography in North America. (Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers).
Hendrix. P. F., D. A. Crossley, Jr., J. M. Blair, and D. C. Coleman. 1990. "Soil biota as components of sustainable agricultural agroecosystems," in C. Edwards and R. Lal, (eds.), Sustainable Agricultural Systems. (Ankeny, Iowa: Soil Water Conserv. Soc. Am.), pp. 637-654.
Ingham, E. R., and W. G. Thies. 1996. "Responses of soil foodweb organisms m the first year following clearcutting and application of chloropicrin to control laminated root rot," Applied Soil Ecology, 3:35-47.
Killham, K. 1994. Soil Ecology. (New York: Cambridge University Press).
Kladivko, E. J., A. D. Mackay, and J. M. Bradford. 1986. "Earthworms as a factor in the reduction of soil crusting," Soil Sci. Soc. Amer. J., 50:191-196.
Lal, R. 1987. Tropical Ecology and Physical Edaphology. (New York: Wiley).
Lambert. D. H., D. E. Baker, and H. Cole, Jr. 1979. "The role of Mycorrhizae in the interactions of phosphorus with zinc. copper, and other elements," Soil Sci. Soc. Amer. J., 43:976-980.
Lee, K. E. 1985. Earthworms, Their Ecology and Relationships with Soils and Land Use. (New York: Academic Press).
Macfadyen, A. 1963. In J. Doeksen and J. van der Drift (eds.), Soil Organisms (Amsterdam: North-Holland).
Menge, J. A. 1981. "Mycorrhizae agriculture technologies," in Background Papers for Innovative Biological Technologies for Lesser Developed Countries, Paper no. 9., Office of Technology Assessment Workshop, Nov. 24-25, 1980. (Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office), pp. 383-424.
Mooreman, T. B., and S. S. Harper. 1989. "Transformation and mineralization of Metribuzin in surface and subsurface horizons of a Mississippi Delta soil," J. Environ. Qual., 18:302-306.
Paul, E. A., and F. E. clark. 1996. Soil Microbiology and Biochemistry, 2nd ed. (New York: Academic Press).
Read, D. J., D. Lewis, A. Fitter, and I. Alexander. 1992. Mycorrhizas in Ecosystems. (Wallingford, U.K.: CAB International).
Rovira, A. D., R. C. Foster, and J. K. Martin. 1979. "Origin, nature and nomenclature of the organic materials in the rhizosphere," in J. L. Harley and R. S. Russell (eds.), The Soil-Root Interface. (New York: Academic Press).
Stehouwer, R. C., W. A. Dick, and S. J. Traina. 1994. "Sorption and retention of herbicides in vertically oriented earthworm and artificial burrows," J. Environ. Qual., 23:286-292.
Sylvia, D., J. Fuhrmann, P. Hartel, and D. Zuberer. 1997. Principles andApplications of Soil Microbiology. (Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall).
Weil, R. R., and W. Kroontje. 1979. "Organic matter decomposition in a soil heavily amended with poultry manure," J. Environ. Qual., 8:584-588.
Whitford, W. G., D. W. Freckman, P. F. Santos, N. Z. Elkins, and L. W. Parker. 1982. "The role of nematodes in decomposition in desert ecosystems," in Diana Freckman, (ed.), Nematodes in Soil Ecosystems. (Austin, Tex.: University of Texas Press), pp. 98-116.

فصل دوازدهم: مادهٔ آلی خاک

Batjes, N. H. 1996. "Total carbon and nitrogen in the soils of the world," European J. Soil Sci., 47:151-163.
Bouwman, A. F. (ed.). 1990. Soils and the Greenhouse Effect. (Chichester, U.K.: Wiley).
Brady, N. C. 1990. The Nature and Properties of Soils, 10th ed. (New York: MacMillan).
Cadisch, G. and K. E. Giller (eds.). 1997. Driven by Nature—Plant Litter Quality and Decomposition. (Walingford, U.K.: CAB International).
Chefetz, B., P. Hatcher, Y. Hadar, and Y. Chen. 1996. "Chemical and biological characterization of organic matter during composting of municipal solid waste," J. Environ. Qual., 25:776-785.
Chen, Y., and T. Aviad. 1990. "Effects of humic substances in plant growth," in P. MacCarthy, C. E. Clapp, R. L. Malcolm, and P. R. Bloom (eds.), Humic Substances in Soil and Crop Sciences: Selected Readings. (Madison, Wis.: ASA Special Publications), pp. 161-186.

Dale, V. H., R. A. Houghton, A. Grainger, A. E. Lugo, and S. Brown. 1993. "Emissions of greenhouse gases from tropical deforestation and subsequent uses of the land," in National Research Council, Sustainable Agriculture and the Environment in the Humid Tropics. (Washington, D.C.: National Academy Press), pp. 215-260.

Eswaran, H., E. Van Den Berg, and P. Reich. 1993. "Organic carbon in soils of the world," Soil Sci. Soc. Amer. J, 57:192-194.

Frimmel, F. H., and R. F. Christman. 1988. Humic Substances and Their Role in the Environment. (New York: Wiley).

Haynes, R. J. 1986. "The decomposition process: Mineralization, immobilization, humus formation and degradation," in R. J. Haynes (ed.), Mineral Nitrogen in the Plant-Soil System. (New York: Academic Press).

Huang, P. M., and M. Schnitzer (eds.). 1986. interactions of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes. SSSA Special Publication no. 17. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).

Inderjit, K. M., M. Dakshini, and F. A. Einhellig. 1995. Allelopathy—Organisms, Processes, and Applications. ACS Symposium Series 582. (Washington, D.C.: American Chemical Society).

Jenkinson, D. S., and A. E. Johnson. 1977. "Soil organic matter in the Hoosfield barley experiment," Rep. Rothamstead Exp. Stn. for 1976, 2:87-102.

Jenny, H. 1941. Factors of Soil formation. (New York: McGraw-Hill).

Kern, J. S. 1994. "Spatial patterns of soil organic carbon In the contiguous United States," Soil Sci. Soc. Amer. J., 58:439-455.

Loll, M. J., and J. M. Bollag. 1983. "Protein transformation in soil," Advances in Agronomy, 36:352-382.

Magdoff, F. 1992. Building Soils for Better Crops. (Lincoln. Nebr.: University of Nebraska Press).

Mohr, E. C. J., and P. A. van Baren. 1954. Tropical Soils. (The Hague: N. V. Uitgeverij, W. Van Hoeve).

Neue, H. U., R. Wasserman, R. S. Lantin, M. C. Alberto, and J. B. Aduna. 1994. "Methane production potential of soils," International Rice Research Notes, 19:37-38. (Manila, Philippines: Rice Research Institute).

Nichols, J. D. 1984. "Relation of organic carbon to soil properties and climate in the southern Great Plains," Soil Sci. Soc. Amer. J., 48:1382-1384.

Odell, R. T., S, W. Melsted, and V. M. Walker. 1984. "Changes In organic carbon and nitrogen of Morrow plots under different treatments 1904-1973," Soil Sci. Soc. Amer. J., 137:160-171.

Paustian, K., W. J. Parton, and J. Persson. 1992. "Modeling soil organic matter-amended and nitrogen-fertilized long-term plots," Soil Sci. Soc. Amer. J., 56:476-488.

Rasmussen, P. E., and C. R. Rhode. 1988. "Long-term tillage and nitrogen fertilization effects on organic nitrogen and carbon in a semi-arid soil," Soil Sci. Soc. Amer. J., 52:1114-1117.

Soil Survey Staff. 1975. Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and interpreting Soil Surveys. Agricultural Handbook no. 436 (Washington, D.C.: USDA Natural Resources Conservation Service).

Stevenson, F.J. 1986. Cycles of Soil. (New York: Wiley).

Stevenson, F. J. 1994. Humus Chemistry—Genesis, Composition Reactions, 2nd ed. (New York: Wiley).

Stewart, B. A.. R. Lal, and S. A. El-Swaify. 1991. "Sustaining the resource base of an expanding world agriculture," in R. Lal and F. J. Pierce (eds.), Soil Management for Sustainability. (Ankeny, Iowa: Soil and Water Conservation Soc.).

Swift, M. J., 0. W. Heal, and J. M. Anderson. 1979. Decomposition in Terrestrial Ecosystems. Studies in Ecology, vol. 5. (Berkeley: University of California Press).

Tate, R.L. 1987. Soil Organic Matter: Biological and Ecological Effects. (New York: Wiley). Tian, G., B. T. Kang, and L. Brussaard. 1992. "Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid, tropical conditions—decomposition and nutrient release," Soil Biol. andBiochem., 24:1051-1060.

Tian, G. B., L. Brussaard, and B. T. Kang. 1995. "An index for assessing the quality of plant residues and evaluating their effects on soil and crop in the (sub-) humid tropics," Applied Soil Ecol., 2:25-32.

Waksman, S. A. 1948. Humus. (Baltimore, Md.: Williams & Wilkins).

Wardle, D. A., 0. Zackrisson, G. Hörnberg, and C. Gallet. 1997. "The influence of island size on ecosystem properties," Science, 277:1296-1299.

Willison, T., R. Cook, A. Müller, and D. Powlson. 1996. "CH_4 oxidation in soils fertilized with organic and inorganic N: Differential effects," Soil Biol. and Biochem., 28:135-136.

Weil, R. R., P. W. Benedetto, L. J. Sikora, and V. A. Bandel. 1988. "Influence of tillage practices on phosphorus distribution and forms in three Ultisols," Agron. J., 80:503-509.
Weil, R. R., and G. S. Belmont. 1987. "Interactions between winged bean and grain amaranth," Amaranth Newsletter, 3(l):3-6.

فصل سیزدهم: اقتصاد ازت و گوگرد در خاک

Addiscott, T. M., A. P. Whitmore, and D. S. Powlson. 1991. Farming, Fertilizers and the Nitrate Problem. (Wallingford, U.K.: CAB International).
Baethgen, W. E., and M. M. Alley. 1987. "Nonexchanged ammonium nitrogen contributions to plant available nitrogen," Soil Sci. Soc. Amer. J., 51:110-115.
Broadbent, F. E., T. Nakashima, and G. Y. Chang. 1982. "Estimation of nitrogen fixation by isotope dilution In field and greenhouse experiments," Agron. J., 74:625-628.
Bronson, K.F.,etal. 1997. "Automated chamber measurements of methane and nitrous oxide flux in a flooded rice soil: I. Residue, nitrogen and water management; II. Fallow period emissions," Soil Sci. Soc. Amer. J., 61:981-993.
Burns, R. C., and R. W. F. Hardy. 1975. Nitrogen fixation in Bacteria and Higher Plants. (Berlin: Springer-Verlag).
Castellano, S. D., and R. P. Dick. 1991. "Cropping and sulfur fertilization influence on sulfur transformations in soil," Soil Sci. Soc. Amer. J., 54:114-121.
Chichester, F. W., and S. J. Smith. 1978. "Disposition of 15N-labeled fertilizer nitrate applied during corn culture field lysimeters," J. Environ. Qual., 7:227-233.
Colbourn, P. 1993. "Limits to denitrification in two pasture soils in a maritime temperate climate," Agriculture, Ecosystems and Environment, 43:49-68.
David, M. B., M. J. Mitchell, and J. P. Nakas. 1982. "Organic and inorganic sulfur constituents of a forest soil and their relationship to microbial activity," Soil Sci. Soc. Amer. J., 46:847-852.
Dutch, J., and P. Ineson. 1990. "Denitrification of an upland forest site," Forestry, 63:363-376.
Emsley, J. 1991. "Metals trace the secrets of nitrogen fixation," New Scientist, 131(1784):19.
Hanson, G. C., P. M. Groffman, and A. J. Gold. 1994. "Denitrification in riparian wetlands receiving high and low groundwater nitrate inputs," J. Environ. Qual., 23:917-922.
Hauck, R. D. (ed.). 1984. Nitrogen in Crop Production. (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron., Crop Sci. Soc. Amer., Soil Sci. Soc. Amer.).
Hinsinger, P., and R. J. Gilkes. 1996. "Mobilization of phosphate from phosphate rock and aluminum-sorbed phosphate by the roots of ryegrass and clover as related to rhizosphere pH," European J. Soil Sci., 47:533-544.
Jenkinson, D. S. 1990. "An introduction to the global nitrogen cycle," Soil Use and Management, 6:56-61.
Johannson, 0. 1960. "On sulfur problems in Swedish agriculture," Kgl. Lanabr. Ann., 25:57-169.
Kirchmann, H., F. Pichimayer, and M. H. Gerzabek. 1996. "Suifur balances and sulfur-34 abundance in a long-term fertilizer experiment," Soil Sci. Soc. Amer. J., 60:174-178.
Klemmedson, J. 0. 1994. "New Mexican locust and parent material: Influence on forest floor and soil macronutrients," Soil Sci. Soc. Amer. J., 58:974-980.
Leffelaar, P. A. 1986. "Dynamics of partial anaerobiosis, denitrification and water in a soil aggregate," Soil Sci., 142:352-366.
Leffelaar, P. A., and W. W. Wessel. 1988. "Denitrification in a homogeneous, closed system: Experimental and simulation," Soil Sci., 146:335-349.
Leuch, D., S. Haley, P. Liapis, and B. McDonald. 1995. The Eu Nitrate Directive and CAP Reform: Effects on Agricultural Production, Trade and Residual Soil Nitrogen. Report 255. (Washington, D.C.: USDA Economic Research Service).
Mekonnen, K., R. J. Buresh, and B. Jama. 1997. "Root and inorganic nitrogen distributions in Sesbania fallow, natural fallow, and maize fields," Plant and Soil, in press.
Mitchell, M. J., et al. 1992. "Sulfur dynamics of forest ecosystems," in Howarth, et al. (eds.), Sulfur Cycling on the Continents, 1992 SCOPE. (New York: Wiley).
National Academy of Sciences. 1983. Acid Deposition: Atmospheric Processes in Eastern North America. (Washington, D.C.: National Academy Press).
National Research Council. 1993. Soil and Water Quality: An Agenda for Agriculture. (Washington, D.C.: National Academy of Sciences).

Olsen, A. R„ and A. L. Slavich. 1986. Acid Precipitation in North America: 1984 Annual Data Summary, from Acid Deposition System Data Base. Environmental Protection Agency Report EPA/600/4-86/033. (Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency).

Owens, L. B., W. M. Edwards, and R. W. Van Keuren. 1992. "Nitrate levels in shallow groundwater under pastures receiving ammonium nitrate or slow-release nitrogen fertilizer," J. Environ. Qual., 21(4):607-613.

Patrick, W. H., Jr. 1982. "Nitrogen transformations in submerged soils," in F. J. Stevenson (ed.), Nitrogen in Agricultural Soils. Agronomy Series no. 27 (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron., Crop Sci. Soc. Amer., Soil Sci. Soc. Amer.).

Power, J. F. 1981. "Nitrogen in the cultivated ecosystem," in F. E. clark and T. Rosswall (eds.), Terrestrial Nitrogen Cycles—Processes, Ecosystem Strategies and Management Impacts. Ecological Bulletin no. 33. (Stockholm, Sweden: Swedish National Research Council), pp. 529-546.

Prasad, R., and J. F. Power. 1995. "Nitrification inhibitors for agriculture, health and the environment," Advances in Agronomy, 54:233-280.

Sanchez, P. A., R.J. Buresh, and R. R. B. Leakey. 1997. "Trees, soils and food security," in Philosophical Transactions of the Royal Society, London, Series A, 355.

Schlindler, S. C., et al. 1986. "Incorporation of 35S-sulfate into inorganic and organic constituents of two forest soils," Soil Sci. Soc. Amer. J., 150:457-462.

Smith, S. J., D. W. Dillow, and L. B. Young. 1982. "Disposition of fertilizer nitrates applied to sorghum—Sudan grass in the Southern Plains," J. Environ. Qual., 11:341-344.

Stevenson, F. J. (ed.). 1982. Nitrogen in Agricultural Soils. Agronomy Series no. 22. (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron., Crop Sci. Soc, Amer., Soil Sci Soc. Amer.).

Tabatabai, S. J. 1986. Sulfur in Agriculture. Agronomy Series no. 27 (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron., Crop Sci. Soc. Amer., Soil Sci. Soc. Amer.).

Torrey, J. G. 1978. "Nitrogen fixation by actinomycete-induced angiosperms," BioScience, 28:586-592.

U.S./Canada Work Group No. 2. 1982. Atmospheric Sciences and Analysis. Final Report; J. L. Ferguson and L. Machata (Cochairmen). (Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency).

Walker, T. W., et al. 1956. "Fate of labeled nitrate and ammonium nitrogen when applied to grass and clover grown separately and together," Soil Sci., 81:339-352.

Wang, F. L. and A. K. Alva. 1996. "Leaching of nitrogen from slow-release urea sources in sandy soils," Soil Sci. Soc. Amer. J., 60:1454-1458.

Whitehead, D. C. 1964. "Soil and plant nutrition aspects of the sulfur cycle," Soils and Fertilizers, 27:1-8.

فصل چهاردهم: فسفر و پتاسیم خاک

Buresh, R. J., P. C. Smithson, and D. T. Hellums. 1997. "Building soil phosphorus capital in Africa," in R. J. Buresh, P. A. Sanchez, and F. Calhoun (eds.). Replenishing Soil Fertility in Africa. SSSA Special Publication no. 51. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).

Brady, N. C. 1974. The Nature and Properties of Soils, 8th ed. (New York: Macmillan).

Cogger, C„ and J. M. Duxbury. 1984. "Factors affecting phosphorus loss from cultivated organic soils," J. Environ. Qual., 13:111-114.

Eghball, B., G. D. Binford, and D. D. Baltensperger. 1996. "Phosphorus movement and adsorption in a soil receiving long-term manure and fertilizer application," J. Environ. Qual., 25:1339-1343.

Evans, C. E., and 0. J. Attoe. 1948. "Potassium supplying power of virgin and cropped soils," Soil Sci., 66:323-334.

Fares, F., et al. 1974. "Quantitative survey of organic phosphorus in different soil types," Phosphorus in Agriculture. (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron.), pp. 25-40.

Fox, R. L. 1981. "External phosphorus requirements of crops," in Chemistry in the Soil Environment. ASA Special Publication no. 40. (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Amer.), pp. 223-239.

Gahoonia, T. S., N. Claassen, and A. Jungle. 1992. "Mobilization of phosphate in different soils by ryegrass supplied with ammonium or nitrate," Plant and Soil, 140:241-248.

Gholston, L. E., and C. D. Hoover. 1948. "The release of exchangeable and nonexchangeable potassium from several Mississippi and Alabama soils upon continuous cropping," Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 13:116-121.

Grewal, J. S., and J. S. Kanwar. 1976. Potassium and Ammonium Fixation in Indian Soils (review). (New Delhi, India: Indian Council for Agricultural Research).
Khasawneh, F. E., etal. (eds.). 1980. The Role of Phosphorus in Agriculture. (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron.).
Kuo, S. 1988. "Application of modified Langmuir isotherm to phosphate sorption by some acid soils," Soil Sci. Soc. Amer. J., 52:97-102.
Magdoff, F. R., and R. J. Bartlett. 1980. "Effect of liming acid soils on potassium availability," Soil Sci., 129:12-14.
Mandzak, J. M., and J. A. Moore. 1994. "The role of nutrition in the health of inland Western forests," J. Sustainable Forestry, 2:191-210.
McLean, E. 0. 1978. "Influence of clay content and clay composition on potassium availability," in G. S. Sekhon (ed.). Potassium in Soils and Crops. (New Delhi, India: Potash Research Institute of India), pp. 1-19.
Mengel, K., and E. A. Kirkby. 1987. Principles of Plant Nutrition, 4th ed. (Bern, Switzerland: International Potash Institute).
Munson, R. D. (ed.). 1985. Potassium in Agriculture. (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron.).
Nair, K. P. P. 1996. "The buffering power of plant nutrients and effects on availability," Advances in Agronomy, 57:237-287.
Nair, V. D., A. A. Graetz, and K. M. Portier. 1995. "Forms of phosphorus in soil profiles from dairies of South Florida," Soil Sci. Soc. Amer. J., 59:1244-1249.
Nowak, C. A., R. B. Downard, Jr., and E. H. White. 1991. "Potassium trends in red pine plantations at Pack Forest. New York," Soil Sci. Soc. J., 55:847-850.
Olsen, S. R., and F. E. Khasawneh. 1980. "Use and limitations of physical-chemical criteria for assessing the status of phosphorus in soils," in F. E. Khasawneh, et al. (eds.), The Role of Phosphorus in Agriculture. (Madison, Wis.: Amer. Soc. of Agron.).
Porter, R. M., J. E. Ayers, M. W. Johnson, Jr., and P. E. Nelson. 1981. "Influence of differential phosphorus accumulation on corn stalk rot," Agron. J., 73:283-287.
Raven, K. P., and L. R. Hossner. 1993. "Phosphorus desorption quantity-intensity relationships in soils," Soil Sci. Soc. Amer. J., 57:1501-1508.
Richter, D. D., et al. 1994. "Soil chemical change during three decades in an old-field Loblolly pine (Pinus taeda L.) ecosystem," Ecology, 75:1463-1473.
Saa, A., M. C. Trasar-Cepeda, B. Soto, F. Gil-Sotres, and F. Diaz-Fierros. 1994. "Forms of phosphorus in sediments eroded from burnt soils," J. Environ, Qual., 23:739-746.
Sample, E. C„ et al. 1980. "Reactions of phosphate fertilizers in soils," in E. E. Khasawneh, et al. (eds.), The Role of Phosphorus in Agriculture. (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron.).
Sanchez, P. A., et al. 1997. "Soil fertility replenishment in Africa: An investment in natural resource capital," in R. J. Buresh, P. A. Sanchez, and F. Calhoun (eds.), Replenishing Soil Fertility in Africa. SSSA Special Publication no. 51. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).
Sharpley, A. N. 1990. "Reaction of fertilizer potassium in soils of differing mineralogy," Soil Sci., 49:44-51.
Sloan, J. J., N. T. Basta, and R. L. Westerman. 1995. "Aluminum transformation and solution equilibria induced by banded phosphorus fertilizer in acid soil," Soil Sci. Soc. Amer. J., 59:357-364.
Smith, S. J., A. N. Sharpley, J. W. Nancy, W. A. Berg, and 0. R. Jones. 1991. "Water quality impacts associated with wheat culture in the Southern Plains," J. Environ. Qual., 20:244-249.
Soltanpour, P. N., R. L. Fox, and R. C. Jones. 1988. "A quick method to extract organic phosphorus from soils," Soil Sci. Soc. Amer. J., 51:255-256.
Stevenson, F. J. 1986. Cycles of Soil Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, and Micronutrients. (New York: Wiley).
Vaithiyanathan, P., and D. L. Correll. 1992. "The Rhode River watershed: Phosphorus distribution and export in forest and agricultural soils," J. Environ. Qual., 21:280-288.
Weil, R. R., P. W. Benedetto, L. J. Sikora, and V. A. Bandell. 1988. "Influence of tillage practices on phosphorus distribution and forms in three Ultisols," Agron. J., 80:503-509.

فصل پانزدهم: عناصر غذایی کم‌مصرف

Brown, P. H„ R. M. Welch, and E. E. Gary. 1987. "Nickel: A micronutrient essential for higher plants," Plant Physiol., 85:801-803.

Clemens, D. F., B. M. Whitehurst, and G. B. Whitehurst. 1990. "Chelates in agricullture," Fertilizer Research,25:127-131.
Goldberg, S., H. S. Forster, and C. L. Godfrey. 1996. "Molybdenum adsorption on oxides, clay minerals, and soils," Soil Sci. Soc. Amer. J., 60:425-432.
Hamilton, M. A., D. T. Westermann, and D. W. James. 1993. "Factors affecting zinc uptake in cropping systems," Soil Sci. Soc. Amer. J., 57:1310-1315.
Haygarth, P. M., A. F. Harrison, and K. C. Jones. 1995. "Plant selenium from soil and the atmosphere," J. Environ. Qual., 24:768-771.
Lindsay, W. L. 1972. "Inorganic phase equilibria of micronutrients in soils," in J. J. Mortvedt, P. M. Giordano, and W. L. Lindsay (eds.), Micronutrients in Agriculture (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).
Lovley, D. R. 1996. "Microbial reduction of iron, manganese and other metals," Advances inAgronomy, 54:175-231.
Marschner, H., A. Kalisch, and V. Romheld. 1974. "Mechanism of iron uptake In different plant species," Proc. 7th Int. Colloquium on Plant Analysis and Fertilizer Problems, Hanover, West Germany.
Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants, 2d ed. (New York: Academic Press).
Mengel, K., and E. A. Kirkby. 1987. Principles of Plant Nutrition, 4th ed. (Bern, Switzerland: International Potash Institute).
Mortvedt, J. J., F. R. Cox, L. M. Shuman, and R. M. Welch (eds.). 1991. Micronutrients in Agriculture. SSSA Book Series, no. 4. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).
Murphy, L. S., and L. M. Walsh. 1972. "Correction of micronutrient deficiencies with fertilizers," inJ.J. Mortvedt, P. M. Giordano, and W. L. Lindsay (eds.), Micronutrients in Agriculture. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).
Myneni, S. C. B., T. K. Tokunaga, and G. E. Brown. 1997. "Ablotic selenium redox transformations in the presence of Fe (II,III) oxides," Science, 278:1106-1109.
Olsen, R. A., R. B. clark, and J. H. Bennett. 1981. "The enhancement of soil fertility by plant roots," Amer. Scientist, 69:378-384.
Ryan, J., and S. N. Hariq. 1983. "Transformation of incubated micronutrients in calcareous soils," Soil Sci. Soc. Amer. Jour., 47:806-810.
Sillanpaa, M. 1982. Micronutrients and the Nutrient Status of Soils: A Global Study. (Rome: U.N. Food and Agricultural Organization).
Viets, F. J., Jr. 1965. "The plants' need for and use of nitrogen," in Soil Nitrogen (Agronomy, no. 10). (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron.).
Weil, R. R., C. D. Foy, and C. A. Coradetti. 1997. "Influence of soil moisture regimes on subsequent soil manganese availability and toxicity in two cotton genotypes," Agron. J., 89:1-8.
Weil, R. R., and Sh. Sh. Holah. 1989. "Effects of submergence on the availability of micronutrients in three Ultisols," Plant and Soil, 114:147-157.
Welch, R. M. 1995. "Micronutrient nutrition of plants," Critical Reviews in Plant Science, 14(1):49-82.
Yermiyahu, U., R. Keren, and Y. Chen. 1995. "Boron sorption by soil in the presence of composted organic matter," Soil Sci. Soc. Amer. J., 59:405-409.

فصل شانزدهم: مدیریت عملی عناصر غذایی

Attiwill, P. M., and G. W. Leeper. 1987. Forest Soils and Nutrient Cycles. (Melbourne, Australia: Melbourne University Press).
Babcock, B. A., and G. R. Pautsch. 1997. "Moving from uniform to variable fertilizer rates on Iowa corn: Effects on rates and returns," CARD Working Paper 97-WP182. (Ames, Iowa: Iowa State University Center for Agricultural and Rural Development).
Belt, G. H., and J. O,Laughlin. 1994. "Buffer strip design for protecting water quality and fish habitat," Western J. Applied Forestry, 9(2):4145.
Bormann, F. H., and G. E. Likens. 1979. Pattern and Process in a Forested Ecosystem. (New York: Springer-Verlag).
Bumb,B.L.andC.A.Baanante. 1996. The Role of Fertilizer in Sustaining Food Security and Protecting the Environment to 2020. Food, Agriculture and the Environment Discussion Paper 17. (Washington, D.C.: International Food Policy Research Institute).
Cerrato, M. E., and A. M. Blackmer. 1990. "Comparison of models from describing corn yield response to nitrogen fertilizer," Agron. J., 98:138-143.

Chauby, I., D. R. Edwards, T. C. Daniel, P. A. Moore, Jr., and D. J. Nichols. 1994. "Effectiveness of vegetative filter strips in retaining surface-applied swine manure constituents," Trans. Am. Soc. Agric. Engineers, 37:845-850.

Cope, J. T., C. E. Evans, and H. C. Williams. 1981. Soil Test Fertilizer Recommendations for Alabama Crops. Circular 251. (Auburn, Ala.: Auburn University Agriculture Experimental Station).

Ebelhar, S. A., W. W. Frye, and R. L. Blevins. 1984. "Nitrogen from legume cover crops for notillage corn," Agron. J., 76:51-55.

Eghball, B., and J. F. Power. 1994. "Beef cattle feedlot manure management," J. Soil and Water Conservation, 49:113-122.

FAO. 1977. China: Recycling of Organic Wastes in Agriculture. FAO Soils Bulletin 40. (Rome: U.N. Food and Agriculture Organization).

Gardner, G. 1997. Recycling Organic Waste: From Urban Pollutant to Farm Resource. Worldwatch Paper 135. (Washington, D.C.: Worldwatch Institute).

He, Xin-Tao, T. Logan, and S. Traina. 1995. "Physical and chemical characteristics of selected U.S. municipal solid waste composts," J. Environ. Qual., 24:543-552.

Loehr, R.C.,etal. 1979. Land Application of Wastes, Vol. 1. (New York: Van Nostrand Reinhold).

Magdoff, F., L. Lanyon, and B. Liebhardt. 1997. "Nutrient cycling, transformations, and Flows: Implications for a more sustainable agriculture," Advances in Agronomy, 60:2-73.

National Research Council. 1993. Soil and Water Quality: An Agenda for Agriculture. (Washington, D.C.: National Academy of Sciences).

Olson, R. A., K. D. Frank, P. H. Graboushi, and G. W. Rehm. 1982. "Economic and agronomic Impacts of varied philosophies of soil testing," Agron. J., 74:492-499.

PPI. 1996. "Site-specific nutrient management systems for the 1990's." Pamphlet. (Norcross, Ga.: Potash and Phosphate Institute and Foundation for Agronomic Research; Saskatoon, Sask.: Potash Phosphate Institute of Canada). Canada.

Reddy, G. B., and K. R. Reddy. 1993. "Fate of nitrogen-15 enriched ammonium nitrate applied to corn," Soil Sci. Soc. Amer. J., 57:111-115.

Reuter, D. J., and J. B. Robinson. 1986. Plant Analysis: An Interpretation Manual. (Melbourne, Australia: Inkata Press).

Richards, R. P., et al. 1996. "Well water quality, well vulnerability, and agricultural contamination in the Midwestern United States." J. Environ, Quality., 25:389-402.

Robert, P. C., R. H. Rust, and W. E. Larson (eds.). 1996. Precision Agriculture. Proceedings of the Third International Conference on Precision Agriculture, (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron.).

Robinson, C. A., M. Ghaffarzadeh, and R. M. Cruze. 1996. "Vegetative filter strip effects on sediment concentration in cropland runoff," J. Soil and Water Conserv., 50:227-230.

Sanchez, P. A., et al. 1997. "Soil fertility replenishment in Africa: An investment in natural resource capital," in R.J. Buresh, P. A. Sanchez, and F. Calhoun (eds.), Replenishing Soil Fertility in Africa. ASA/SSSA Publication. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).

Sims, J. T., and D. C. Wolf. 1994. "Poultry waste management: Agricultural and environmental issues," Advances in Agronomy, 52:1-83.

Smaling, E. M. A., S. M. Nwanda, and B. H. Jensen. 1997. "Soil fertility in Africa is at stake," in R. J. Buresh, P. A. Sanchez, and F. Calhoun (eds.), Replenishing Soil Fertility in Africa. ASA/SSSA Publication. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).

Stickler, F. C., et al. 1975. Energy from Sun to Plant to Man. (Moline, Ill.: John Deere and Company).

Stivers, L. J., C. Shennen, L. E. Jackson, K. Groody, C. J. Griffin, and P. R. Miller. 1993. "Winter cover cropping in vegetable production systems in California," in M. G. Paoletti, W. Foissner, and D. Coleman (eds.), Soil Biota, Nutrient Cycling and Farming Systems. (Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers).

Sutton, A. L. 1994. "Proper animal manure utilization," in Nutrient Management, supplement to J. Soil Water Conserv., 49(2), pp. 65-70.

Teng, Y., and V. R. Timmer. 1994. "Nitrogen and phosphorus in an intensely managed nursery soil-plant system," Soil Sci. Soc. Amer. J., 58:232-238.

Terry, D. L., and P. Z. Yu. 1996. Commercial Fertilizers. A cooperative project of the Association of American Plant Food Control Officials Inc. (AAPFCO) and The Fertilizer Institute. (Lexington, Ky.: AAPFCO).

Thomas, M. L., R. Lal, T. Logan, and N. R. Fausey. 1992. "Land use and management effects on non-point loading from Miamian soil," Soil Sci. Soc. Amer. J., 56:1871-1875.

Tisdale, S. L., W. L. Nelson.J. D. Beaton, and J. L. Havlin. 1993. Soil Fertility and Fertilizers, 5th ed. (New York: Macmillan).

USDA. 1980. Appraisal, 1980 Soil and Water Resources Conservation Act, Review Draft, Part I. (Washington, D.C.: USDA).

USDA Natural Resources Conservation Service. 1991. Water Quality Indicator Guide: Surface Waters. Report no. SCS-TP-161. (Washington, D.C.: USDA).

Walworth, J. L., and M. E. Sumner. 1987. "The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS)," Advances in Soil Science, 6:149-187.

Westerman.R.L. (ed.). 1990. Soil Testing and Plant Analaysis, 3d ed. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).

Wilkinson, D. M., and N. M. Dickinson. 1995. "Metal resistance in trees: The role of mycorrhizae," Oikos, 72:298-299.

Zublena, J. P., J. C. Barker, and T. A. Carter. 1993. "Poultry manure as a fertilizer source," Soil facts (Raleigh, N.C.: North Carolina Cooperative Extension Service, North Carolina State University).

فصل هفدهم: فرسایش خاک و مهار آن

Blevins, R. L., and W. W. Frye. 1992. "Conservation tillage: An ecological approach to soil management," Advances in Agronomy, 51:33-78.

Carter, M. R. 1994. Conservation Tillage in Temperate Agroecosystems. (Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers).

Cassel, D. K., and R. Lal. 1992. "Soil physical properties of the tropics: Common beliefs and management constraints," in R. Lal and P. A. Sanchez (eds.), Myths and Science of Soils of the Tropics. SSA Special Publication no. 29. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. of Amer.), pp. 61-89.

Crovetto, C. 1996. Stubble Over the Soil. (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron.).

Dally, G. 1997. "Restoring value to the world's degraded lands," Science, 269:350-354.

Dickey, E.C.,etal. 1987. "Conservation tillage: Perceived and actual use," J. Soil Water Cons., 42:431-434.

Doolette, J. B., and J. W. Smyle. 1990. "Soil and moisture conservation technologies: Review of literature," in J. B. Doolette and W. B. Magrath (eds,), Watershed Development in Asia: Strategies and Technologies. (Washington, D.C.: World Book Technical Paper 127).

El-Swaify, and E. W. Dangler. 1982. "Rainfall erosion in the tropics: A state-of-the-art," Soil Erosion and Conservation in the Tropics. ASA Special Publication no. 43. (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron.).

FAO. 1987. Protect and Produce. (Rome: U.N. Food and Agriculture Organization).

Follet, R. F., and B. F. Stewart (eds.). 1985. Soil Erosion and Crop Productivity. (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron.).

Foster, G. R., D. K. McCool, K. G. Renard, and W. C. Moldenhauer. 1981. "Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. "J. Soil Water Cons., 36:355-359.

Foster, G. R., and R. E. Highfill. 1983. "Effect of terraces on soil loss: USLE P factor values for terraces," J. Soil Water Cons., 38:48-51.

Fryrear, D. W., and A. Saleh. 1993. "Field wind erosion: Vertical distribution," Soil Sci., 155:294-300.

Fryrear, D. W. 1998. "RWEQ: Improved wind erosion technology," J. Soil Water Cons., 53:(in press)

Hillel, D. 1991. Out of the Earth: Civilization and the Life of the Soil. (New York: The Free Press).

Hockensmith, R. D., and J. G. Steel. 1949. "Recent trends in the use of the landcapability classification," Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 14:383-388.

Hudson, N. 1995. Soil Conservation, 3rd ed. (Ames, Iowa: Iowa State University Press).

Hughes, H. A. 1980. Conservation Farming. (Moline, Ill.: John Deere and Company).

IUCN. 1986. The IUCNSahel Report. (Gland, Switzerland: Intl. Union Cons. Nature).

Krenisky, E. C., M. J. Carroll, R. L. Hill, andJ. M. Krouse. 1998. "Runoff and sediment losses from natural and man-made erosion control materials," Crop Sci., 38:1042-1046

Laflen, J. M., W. J. Elliot, D. C. Flanagan, C. R. Meyers, and M. A. Nearing. 1997. "WEPP—predicting water erosion using a process-based model," J. Soil Water Cons., 52:96-102.

Lal, R. 1995. "Erosion-crop productivity relationships for the soils of Africa," Soil Sci. Soc. Amer. J., 59:661-667.

Larson, W. E., F. J. Pierce, and R. H. Dowdy. 1983. "The threat of soil erosion to longterm crop productivity," Science, 219:458-465.

Lattanzi, A. R., L. D. Meyer, and M. F. Baumgardner. 1979. "Influence of mulch rate and slope steepness in interrill erosion," Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 38:946-950.

Mahboubi, A. A., R. Lal, and N. R. Faussey. 1993. "Twenty-eight years of tillage effects on two soils in Ohio," Soil Sci. Soc. Amer. J., 57:506-512.
Nyland, R. D. 1996. Silviculture: Concepts and Applications. (New York: McGraw-Hill).
Oldeman, L. R. 1994. "The global extent of soil degradation," in D. J. Greenland, and I. Szabolcs (eds.), Soil Resilience andSustainable Land Use. (Wallingford, U.K.: CAB International).
Oschwald, W. R., and J. C. Siemens. 1976. "Conservation tillage: A perspective," Agronomy Facts SM-30. (Urbana, III.: University of Illinois).
Pierre, C. J. M. G. 1992. Fertility of Soils: A Future for Farming in the West African Savannah. (Berlin: Springer-Velag).
Pimental, D., C. Harvey, P. Resosudarmo, K. Sinclair, D. Kurz, M. McNair, S. Crist, L. Shpritz, L. Fritton, R. Saffouri, and R. Blair. 1995. "Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits," Science, 267:1117-1122.
Renard, K. G., G. Foster, D. yoder, and D. McCool. 1994. "RUSLE revisted: Status, questions, answers and the future," J. Soil Water Cons., 49:213-220.
Renard, K. G., G. Foster, G. Weesies, D. McCool, and D. yoder. 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agricultural Handbook no 703. (Washington, D.C.: USDA).
Rosensweig, C., and D. Hillel. 1998. Climate Change and the Global Harvest: Potential impacts of the Greenhouse Effect on Agriculture. (Gary, N.C.: Oxford University Press).
Schwab, G. 0., D. D. Fangmeirer, and W. J. Elliot. 1996. Soil and Water Management Systems, 4th ed. (New York: Wiley).
Schertz, D. L. 1983. "The basis for soil loss tolerance," J. Soil Water Cons., 30:10-14.
Skidmore, E. L„ and F. H. Siddoway. 1978. "Crop residue requirements to control wind erosion," In W. R.Oschwalk (ed.), Crop Residue Management Systems. ASA Special Publication no. 31. (Madison, Wis.: Amer. Soc. Agron.; Crop Sci. Soc. Amer.; and Soil Sci. Soc. Amer.).
Skidmore, E. L., and N. P. Woodruff. 1968. Wind Erosion Forces in the United States and Their Use in Predicting Soil Loss. Agricultural Handbook no. 346. (Washington, D.C.: USDA).
USDA. 1994. Summary Report: 1992 National Resources Inventory. (Washington, D.C.: USDA Natural Resources Conservation Service).
Van Doren, D. M., Jr., G. B. Tripett, Jr., and J. E. Henry. 1976. "Influence of long-term tillage, crop rotation and soil type combinations on corn yields," Soil Sci. Soc. Amer. J., 40:100-105.
Weesies, G. A., S. J. Livingston, W. D. Hosteter, and D. L. Schertz. 1994. "Effect of soil erosion on crop yield in Indiana: Results of a 10 year study," J. Soil Water Cons., 49:597-600.
Wischmeier, W. J., and D. D. Smith. 1978. Predicting Rainfall Erosion Loss—A Guide to Conservation Planning. Agricultural Handbook no. 537. (Washington, D.C.: USDA).

فصل هجدهم: خاک‌ها و آلودگی شیمیایی

Alexander, M. 1994. Biodegradation andBioremediation. (San Diego: Academic Press).
Bagchi, A. 1994. Design, Construction and Monitoring of Landfills, 2d ed. (New York: Wiley).
Beyer, W. N., R. L. Chancy, and B. M. Mulhern. 1982. "Heavy metal concentration in earthworms from soil amended with sewage sludge," J. Environ. Qual., 11:381-385.
Boyle, M. 1988. "Radon testing of soils," Environ. Sci. Tech., 22:1397-1399.
Bragg, J. R„ R. C. Prince, E. J. Harner, and R. M. Atlas. 1994. "Effectiveness of bioremediation for the Exxon Valdez oil spill," Nature, 368:413-418.
Chaney, R. L. 1990. "Public health and sludge utilization," Part II, Biocycle, 31(10):68-73.
Chang, A. C., A. L. Page, J. E. Warneke, and E. Grgurevic. 1984. "Sequential extraction of soil heavy metals following a sludge application," J. Environ. Qual., 13:33-38.
Cheng, H. H. (ed.). 1990. Pesticides in the Soil Environment: Processes, Impacts, and Modeling. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).
Cunningham, S. D., T. A. Anderson, A. P. Schwab, and E C. Hsu. 1996. "Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants," Advances in Agronomy, 56:55-114.
Cureton, P. M., P. H. Groenevelt, and R. A. McBride. 1991. "Landfill leachate recirculation: Effects on vegetation vigor and clay surface cover infiltration," J. Environ. Qual., 20:17-24.
DMI. 1981. Farming in the Profit Zone Through Plant Nutrition and Conservation Tillage. (Goodfield, III.: DMC Inc.).
Dowdy, R. H., C. E. Clapp, D. R. Linden, W. E. Larson, T. R. Halbach, and R. C. Polta. 1994. "Twenty years of trace metal partitioning on the Rosemount sewage sludge watershed," in C. E.

Clapp, W. E. Larson, and R. H. Dowdy (eds.), Sewage Sludge: Land Utilization and the Environment. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.), pp. 149-155.
Edwards, C. A. 1978. "Pesticides and the micro-fauna of soil and water," in I. R. Hill and S. J. Wright (eds.), Pesticide Microbiology. (London: Academic Press), pp. 603-622.
Elliott, H. A., M. R. Liberati, and C. P. Huang. 1986. "Competitive adsorption of heavy metals in soils," I. Environ, Qual., 15:214-219.
Furr, A. K., A. W. Lawerence, S. S. C. Tong, M. C. Grandolfo, R. A. Hofstader, C. A. Bache, W. H. Gutemann, and D.J. Lisk. 1976. "Multielement and chlorinated hydrocarbon analysis of municipal sewage sludges of American cities," Environ. Sci. Tech., 10:683-687.
Gaynor, J. D., D. C. MacTavish, and W. 1. Findlay. 1995. "Atrazine and metolachlor loss in surface and subsurface runoff from three tillage treatments in corn," J. Environ. Qual., 24:246-256.
General Accounting Office. 1991. Pesticides—EPA Could Do More to Minimize Groundwater Contamination. GAO/RCED-91-75. (Washington, D.C.: U.S. General Accounting Office).
Hazen, Terry C. 1995. "Savannah river site—a test bed for cleanup technologies," Environ. Protection, April, pp. 10-16.
Holmgren, G. G. S., M. W. Meyer, R. L. Chancy, and R. B. Daniels. 1993. "Cadmium, lead, zinc, copper, and nickel in agricultural soils of the United States of America," J. Environ. Qual., 22:335-348.
Jaynes, W. F., and S. A. Boyd. 1991. "Clay mineral type and organic compound sorption by hexadecyltrimethylammonium-exchanged clays," Soil. Sci. Soc. Amer. J., 55:43-48.
Kabata-Pendias, A., and H. Pendias. 1992. Trace Elements in Soils and Plants. (Boca Raton, Fla.: CRC Press).
Kellogg, R. L., M. S. Maizel, and D. W. Goss. 1994. "The potential for leaching of agrichemicals used in crop production: A national perspective," J. Soil Water Cons., 49:294-298.
Kreuger, R. F., and J. N. Seiber (eds.). 1984. Treatment and Disposal of Pesticide Wastes. (Washington, D.C.: Amer. Chem. Soc.).
Losi, M. E., C. Amrheim, and W. T. Frankenberger, Jr. 1994. "Bioremediation of chromatecontaminated groundwater by reduction and precipitation In surface soils," J. Environ. Qual., 23:1141-1150.
Maymo-Gatell, X., Y. T. Chein, J. M. Gessett, and S. H. Zinder. 1997. "Isolation of a bacterium that reductively dechlorinates tetrachloroethene to ethene," Science, 276:1568-1571.
McConnell, J. S., and L. R. Hossner. 1985. "pH-dependent adsorption isotherm of glyphosate," J. Agric. Food Chem., 33:1075-1078.
Meriwether, J. R., J. N. Beck, D. F. Keeley, M. P. Langley, R. N. Thompson, and J. C. Young, 1988. "Radionuclides in Louisiana soils," J. Environ. Qual., 17:562-568.
Moore, J. W., and S. Ramamoorthy, 1984. Heavy Metals in Natural Waters. (New York: Springer-Verlag).
Pierzynski, G. M., J. T. Sims, and G. F. Vance. 1994. Soils and Environmental Quality. (Boca Raton, Fla.: CRC Press/Lewis Publishers).
Pimental, D., H. Acquay, M. Biltonen, P. Rice, M. Silva, J. Nelson, V. Lipner, S. Giordano, A. Horowitz, and M. D'Amore. 1992. "Environmental and economic costs of pesticide use," Bioscience, 42:750-760.
Pritchard, P. H., J. G. Mueller, J. C. Rogers, F. V. Kremer, and J. A. Glaser. 1992. "Oil spill bioremediation: Experiences, lessons and results from the Exxon Valdez oil spill in Alaska," Biodegradation, 3:315-335.
Richards, R. P., et al. 1996. "Well water quality, well vulnerability and agricultural contamination in the midwestern United States," J. Environ. Qual., 25:389-402.
Sawhney, B. L., and K. Brown (eds.). 1989. "Reactions and movement of organic chemicals in soils," (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).
Shipitalo, M. J., W. M. Edwards, and L. B. Owens. 1997. "Herbicide losses in runoff from conservation-tilled watersheds in a corn-soybean rotation," Soil Sci. Soc. Amer. J., 61:267-272.
Skipper, H. D. and R. F. Turco. 1995. Bioremediatton: Science and Applications, Special Publication no. 43. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).
Sommers, L. E. 1977. "Chemical composition of sewage sludges and analysis of their potential use as fertilizer," J. Environ. Qual., 6:225-232.
Strek, H. J., and J. B. Weber. 1982. "Adsorption and reduction in bioactivity of polychlorinated biphenyl (Aroclor 1254) to redroot pigweed by soil organic matter and montmorillonite clay," Soil Sci. Soc. Amer. J., 46:318-322.

Thompson, A. R„ and C. A. Edwards. 1974. "Effects of pesticides on nontarget invertebrates In freshwater and soil," in W. D. Guenzi (ed.), Pesticides in Soil and Water. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.), pp. 341-386.
U.S. EPA. 1993. Clean Water Act, sec. 503, vol. 58, no. 32. (Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency).
U.S. EPA. 1997. Characterization of Municipal Solid Waste in the United States: 1996 Update. EPA 530-R-97-015. (Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency).
Weber, J. B., and C. T. Miller. 1989. "Organic chemical movement over and through soil," in B. L. Sawhney and K. Prown (eds.), Reactions and Movement of Organic Chemicals in Soils. SSSA Special Publication no. 22. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).
Xu, S., G. Sheng, and S. A. Boyd. 1997. "Use of organoclays in pollution abatement." Advances in Agronomy, 59:25-62.

فصل نوزدهم: اطلاعات جغرافیایی خاک‌ها

Cline, M. G., and R. L. Marshall. 1977. "Soils of New York Landscapes," Inf. Bull. 119, Physical Sciences, Agronomy 6, New York State College of Agriculture and Life Sciences, Cornell University.
Doolittle, J. A. 1987. "Using ground-penetrating radar to increase the quality and efficiency of soil surveys" in W. U. Reybold and G. W. Peterson (eds.), Soil Survey Techniques, SSSA Special Publication no. 20 (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).
Doolittle, J. A., K. A. Sudduth, N. R. Kitchen, and S. J. Indorante. 1994. "Estimating depths to claypans using electromagnetic induction methods," J. Soil Water Cons., 49:572-575.
FAO. 1977. Guidelines for Soil Profile Description, 2d ed. (Rome: Land and Water Development Div. U.N. Food and Agriculture Organization.
Gronlund, A. G., W. N. Xiang, and J. Sox. 1994. "GIS, expert systems technologies improved forest fire management techniques," GIS World, 7(2):32-36.
Herring, T. A.' 1996. "The global positioning system," Scientific American 270(2):44-50.
Indorante, S. J., R. L. McLeese, R. D. Hammer, B. W. Thompson, and D. L. Alexander. 1996. "Positioning soil survey for the 21st century,". J. Soil Water Cons., 51:21-28.
Lillesand, T. M., and R. W. Kiefer. 1994. Remote Sensing and Image interpretation, 3d ed. (New York: Wiley).
Smith, H., and E. Matthews, 1975. Soil Survey of Harford County Area, Maryland. (Washington, D.C.: U.S. Soil Conservation Service).
Soil Survey Staff, 1993a. National Soil Survey Handbook. Title 430 VI. (Washington, D.C.: USDA).
Soil Survey Staff, 1993b. Soil Survey Manual. Handbook no. 18. (Washington, D.C.: USDA).
Star, J., and J. Estes. 1990. Geographic Information Systems: An Introduction. (Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall).
Stoner, E. R., and M. F. Baumgardner. 1981. "Characteristic variations in reflectance of surface soils," Soil Sci. Soc. Amer. J., 45:1161-1165.
Wilding, L. P. 1985. "Spatial variability: Its documentation, accommodation and implication to soil surveys," in D. R. Nielsen and J. Bouma (eds.), Soil Spatial Variability. (Pudoc, Wageningen, The Netherlands), pp. 166-194.
Wollenhaupt, N. C., R. P. Wolkowski, and M. K. Clayton. 1994. "Mapping soil test phosphorus and potassium for variable rate fertilizer application," J. Prod. Agric., 7:441-448.
Zwicker, S. E. 1992. Soil Survey of Bureau County, Illinois. (Washington, D.C.: USDA Natural Resources Conservation Service).

فصل بیستم: کیفیت خاک در مقیاس جهانی تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی

Bumb, B. L., and C. A. Baanante. 1996. The Role of Fertilizerin Sustaining Food Security and Protecting the Environment to 2020. Food, Agriculture and the Environment Discussion Paper 17. (Washington D.C.: Int. Food Policy Res. Inst.).
Buresh, R. J., and P. A. Sanchez (eds.). 1997. Replenishing Soil Fertility in Africa. SSSA Special Publication no. 51. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).
CGIAR. 1997. "How efficient are modern cereal cultivars?" CGIAR News, 4(2):3. April 1997.

Cassman, K. G., S. Peng, D. C. Olk, W. Reicharat, A. Doberman, and U. Singh. 1997. "Opportunities for increased nitrogen use efficiency from improved resource management in irrigated rice systems," Field Crop Res., in press.

CIMMYT. 1995. CIMMYT 1994 Annual Report. (Mexico City, Mexico: International Maize and Wheat Improvement Center).

Doran,J.W., and A. J.Jones (eds.). 1996. Methods for Assessing Soil Quality. SSSA Special Publication no. 49, (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).

Doran, J. W., A. Sarrantonio, and M. A. Liebig. 1996. "Soil health and sustainability," Advances in Agronomy, 56:1-54.

Eswaran, H., R. Almaraz, P. Reich, and P. Zdruli. 1997a. "Soil quality and soil productivity in Africa," J. Sust. Ag., 10:75-94.

Eswaran H., R. Almaraz, E. vanden Berg, and P. Reich. 1997b. "An assessment of the soil resources of Africa in relation to productivity," Geoderma, 77:1-18.

FAO. 1987. Agriculture: Toward 2000. (Rome: U.N. Food and Agriculture Organization).

Harris, R. F., D. L. Karlen, and D. J. Mulla. 1996. "A conceptual framework for assessment and management of soil quality and health," in J. W. Doran and H. J. Jones (eds.), Methods for Assessing Soil Quality. SSSA Special Publication no. 49. (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).

ICRISAT. 1997. ICRISAT Report 1996. (Patancheru, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics).

Kang, B. T., G. F. Wilson, and T. L. Lawson. 1984. Alley Cropping: A Stable Alternative to Shifting Cultivation, (Ibadan, Nigeria: Int. Inst. Of Tropical Agric.).

Karlen, D. L., and D. E. Stott. 1994. "A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality," in J. W. Doran, et al. (eds.), Defining Soil Quality for a Sustainable Environment, SSSA Special Publication no. 35, (Madison, Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.).

Kwesiga, F. R., S. franzel, F. Place, D. Phiri, and C. P. Simwanza. 1997. "Sesbania improved fallows in Eastern Zambia: Their inception, development and farmer enthusiasm," in R. J. Buresh and P. J. Cooper (eds.), The Science and Practice of Short Term improved Fallows. (Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers).

Lal, R. 1989. "Agroforestry systems and soil surface management of a tropical Alfisol: II: Water runoff, erosion and nutrient loss," Agroforestry Systems, 8:97-111.

Mekonnen, K., R. S. Buresh, and B. Jama. 1997. "Root and inorganic nitrogen distributions in Sesbania fallow, natural fallow and maize fields," Plant and Soil 188:319-327.

Oldeman, L. R., R. T. A. Hakkeling, and W. G. Sombroek. 1990. World Map of the Status of Human-Induced Soil Degradation: An Explanatory Note. (Wageningen, Netherlands: ISRIC; Kenya: UNEP).

Pinstrup-Andersen, Rajul Pandya-Lorch, and M.W. Rosegrant. 1997. The World Food Situation: Recent Developments, Emerging Issues and Long-Term Prospects. Paper for the Consultative Group on International Research, Oct. 27, 1997. (Washington, D.C.: Int. Food Policy Res. Inst.).

Sanchez, P. A., and T. J. Logan. 1992. "Myths and science about the chemistry and fertility of soils of the tropics," in P. A. Sanchez and R. Lal (eds.), Myths and Science of Soils of the Tropics. SSSA Special Publication no. 29 (Madison Wis.: Soil Sci. Soc. Amer.), pp. 35-46.

Stoorvogel, J. J., and E. M. A. Smaling. 1990. "Assessment of soil nutrient depletion in SubSaharan Africa: 1983-2000." Report no. 28. (Wageningen, Netherlands: Winand Staring Centre for Integrated Land, Soil and Water Research).

Stoorvogel, J. J., E. M. A. Smaling, and B. H. Janssen. 1993. "Calculating soil nutrient balances in Africa at different scales," Fertilizer Research, 35:277-235.

UNFPA. 1992. The State of the World Population. (New York: U.N. Population Fund).

USDA. 1997. Alley Cropping Conservation Practice. Job Sheet 311. (Washington, D.C.: USDA Natural Resources Conservation Service).

Wadsworth, G. R., R. J. Southhard, and M. J. Singer. 1988. "Effects of fallow length on organic carbon and soil fabric of some tropical Udults," Soil Sci. Soc. Amer. J.,52:1424-30.

ضمایم

ضمیمه الف : رده‌بندی خاک آمریکا. نقشه‌ی و علائم زیر رده‌ها

مطالعات خاک‌شناسی در اکثر کشورهای قاره‌ی آمریکا انجام شده است. کارشناسان مطالعات خاک‌شناسی سازمان حفاظت منابع طبیعی آمریکا در همکاری با دانشمندان سایر کشورها از اطلاعات موجود در این مطالعات برای تهیه‌ی نقشه‌ی عمومی خاک‌ها بر اساس رده‌بندی خاک استفاده کرده اند. مناطقی که رده و یا زیررده‌ی خاص در آن غالب می‌باشند با استفاده از علائم نقشه ترسیم شده است (**A3a** و **Dis** و ...) رده‌ها و یا زیررده‌ها که این علائم مربوط به آن‌ها می‌باشد. در صفحه‌ی پشت نشان داده شده است. باید به خاطر داشت درحالی‌که واحدهای نقشه بیانگر مناطقی هستند که شامل رده‌ها و یا زیررده‌های غالب می‌باشند، هر واحد هیز احتمالاً شامل خاک‌های دیگری است که از آن‌چه در علایم نقشه آمده است متفاوت می‌باشد.



FIGURE A.1 General soil map of the United States showing patterns of soil orders and suborders based on *Soil Taxonomy*. Explanations of symbols follow. [Courtesy USDA Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center (1998)]

ALFISOLS

Aqualfs

A1a Aqualfs with Udalfs, Aquepts, Udolls; Aquolls; gently sloping.

Cryalfs

A2S Cryalfs with Cryolls, Cryepts, Haplocryods, and Rock outcrops; steep.

Udalfs

A2a Udalfs with Udipsamments and Histosols; gently and moderately sloping.

A3a Udalfs with Aqualfs, Aquolls, Rendolls, Udolls, and Udults; gently or moderately sloping.

Ustalfs

A4a Ustalfs with Ustepts, Ustolls, Usterts, Ustipsamments, and Ustorthents; gently or moderately sloping.

Xeralfs

A5S1 Xeralfs with Xerolls, Xerorthents, and Xererts; moderately sloping to steep.

A5S2 Ultic and lithic subgroups of Haploxeralfs with Xerands, Xerults, Xerolls, and Xerepts; steep.

ANDISOLS

Cryands

C1a Cryands, Cryaquepts, Cryaquands, Histosols, and Rock outcrop; gently or moderately sloping.

C1S1 Cryands with Cryepts and Cryods; steep.

Udands

C2a Udands with Udepts, Spodosols, and Aquepts.

Ustands

C3S2 Ustands with Ustepts, Ustolls, Udands, and Folists; moderately sloping to steep.

ARIDISOLS

Argids

D1a Argids with Cambids, Calcids, Orthents, Psamments, and Ustolls; gently and moderately sloping.

D1S Argids with Cambids, gently sloping; and Torriorthents, gently sloping to steep.

Cambids

D2a Cambids with Argids, Orthents, Psamments, and Xerolls; gently or moderately sloping.

D2S Cambids, gently sloping to steep, with Argids, gently sloping; lithic subgroups of Torriorthents and Xerorthents, both steep.

ENTISOLS

Aquents

E1a Aquents with Quartzipsamments, Aquepts, Aquolls, and Aquods; gently sloping.

Orthents

E2a Torriorthents, steep, with xeric and ustic subgroups of Aridisols; Usterts and aridic and vertic subgroups of Ustolls;
gently or moderately sloping.

E2b Torriorthents with Torrerts; gently or moderately sloping.

E2c Xerorthents with Xeralfs, Cambids, and Argids; gently sloping.

E2S1 Torriorthents; steep, and Argids, Torrifluvents, and Ustolls; gently sloping

E2S2 Xerorthents with Xeralfs and Xerolls; steep.

E2S3 Cryorthents with Cryopsamments and Cryands; gently sloping to steep.

Psamments

E3a Quartzipsamments with Aquults and Udults; gently or moderately sloping.

E3b Udipsamments with Aquolls and Udalfs; gently or moderately sloping.

E3c Ustipsamments with Ustalfs and Aquolls; gently or moderately sloping.

GELISOLS

G1P Gelisols; gently sloping to steep.

G2P Gelisols with Cryorthents, Cryepts, and cryic great groups of Histosols; gently sloping to steep.

HISTOSOLS

H1a Haplohemists with Psammaquents and Udipsamments; gently sloping.

H2a Haplohemists and Haplosaprists with Fluvaquents, Hydraquents and Aquepts; gently sloping.

H3a Haplofibrists, Haplohemists, and Haplosaprists with Psammaquents; gently sloping.

INCEPTISOLS

Aquepts

12a Epi and endo great groups of Aquepts with Aqualfs, Aquerts, Aquolls, Udalfs, and Fluvaquents; gently sloping.

Cryepts

13a1 Cryepts with Cryaquepts, Histosols, and Cryods; gently or moderately sloping.

13a2 Cryepts, Cryands with Xerepts, Xerolls, and Cryods; moderately sloping to steep.

Udepts

13b Eutrudepts with Uderts; gently sloping.

13c Fragudepts with Fragaquepts; gently or moderately sloping; and Dystrudepts, steep.

13d Dystrudepts with Udipsamments and Haplorthods; gently sloping.

13S Dystrudepts, steep, with Udalfs and Udults; gently or moderately sloping.

Xerepts

13e Xerepts, Xerands with Aquepts and Orthods; gently or moderately sloping.

MOLLISOLS

Aquolls

M1a Aquolls with Udalfs, Fluvents, Udipsamments, Aquepts, and Eutrudepts; gently sloping.

M1b Aquolls and Aquerts with Udolls and Udipsamments; gently sloping.

Udolls

M2a Udolls with Aquolls and Udorthents; gently sloping.

M3a Udolls with Aquolls, Udalfs, Aqualfs, Fluvents, Udipsamments, Udorthents, Aquepts, and Albolls; gently or moderately sloping.

Ustolls

M2b Typic subgroups of Ustolls with Ustipsamments, Ustorthents, and Cryalfs; gently sloping.

M2c Aridic subgroups of Ustolls and Ustic subgroups of Argids, Cambids, and Torriorthents; gently sloping.

M2S Ustolls with Ustalfs, Argids, Torriorthents, and Ustolls; moderately sloping or steep.

M4a Udic subgroups of Ustolls with Ustorthents, Ustepts, Usterts, Aquents, Fluvents, and Udolls; gently or moderately sloping.

M4b Typic subgroups of Ustolls with Ustalfs, Ustipsamments, Ustorthents, Ustepts, Aquolls, and Usterts; gently or moderately sloping.

M4c Aridic subgroups of Ustolls with Ustalfs, Cambids, Ustipsamments, Ustorthents, Ustepts, Torriorthents, and Usterts; gently or moderately sloping.

M4S Ustolls with Argids and Torriorthents; moderately sloping or steep.

Xerolls

M5a Xerolls with Argids, Cambids, Fluvents, Cryalfs, Cryolls, and Xerorthents; gently or moderately sloping.

M5S Xerolls with Cryalfs, Xeralfs, Xerorthents, and Xererts; moderately sloping or steep.

OXISOLS

O1a Ustox with Dystrustepts, Ustolls. Andisols, Udox, and Torrox; gently to steeply sloping.

SPODOSOLS

Aquods

S1a Aquods with Psammaquents, Aquolls, Alorthods, and Aquults; gently sloping.

Orthods

S2a Orthods with Udalfs, Aquents, Udorthents, Udipsamments, Histosols, Aquepts, Fragudepts, and Dystrudepts; gently or moderately sloping.

S2S1 Orthods and Cryods with Histosols, Aquents, and Aquepts; moderately sloping or steep.

Cryods

S2S2 Cryods with Histosols; moderately sloping or steep.

S2S3 Cryods with Cryic great groups of Histosols, Cryands and Cryaquepts; gently sloping to steep.

ULTISOLS

Aquults

U1a Aquults with Aquents, Histosols, Quartzipsamments, and Udults; gently sloping.

Humults

U2Sa Humults and Xeralfs with Xerolls, Aquepts and Xerults; gently sloping to moderately sloping.

U2Sb Humults, Xeralfs. and Xerults with Xerolls and Rock outcrop; gently sloping to steep.

Udults

U3a Udults with Udalfs, Fluvents, Aquents, Quartzipsamments, Aquepts, Dystrudepts, and Aquults; gently or moderately sloping.

U3S Udults with Dystrudepts; moderately sloping or steep.

VERTISOLS

Uderts

V1a Uderts with Aqualfs, Aquerts, Eutrudepts, Aquolls, and Ustolls; gently sloping.

Usterts

V2a Usterts with Aqualfs, Cambids, Aquerts, Fluvents, Aquolls, Ustolls, and Torrerts; gently sloping.

Miscellaneous Areas (with littte soil)

X1 Salt flats and Playas.

X2 Rock outcrop (plus permanent snow fields, glaciers, and lava flows).

Slope Classes

Gently sloping—Slopes mainly less than 10%, including nearly level.

Moderately sloping—Slopes mainly between 10 and 25%.

Steep—Slopes mainly steeper than 25%.

ضمیمه ب : نظام‌های طبقه‌بندی خاک کانادا و FAO

نظام طبقه‌بندی خاک کانادا یکی از نظام‌های متعدد طبقه‌بندی خاک در کشورهای مختلف سرتاسر جهان است که شاید در ارتباط نزدیک‌تر با طبقه‌بندی آمریکـایی باشد. شامل دسته‌بندی سلسله مراتب راسته ، گروه بزرگ ، زیرگروه . خانواده و سری می‌باشد. نظام اصولاً برای کاربرد در خاک‌های کانادا طراحـی شـده اسـت. راسته‌های خاک سیستم طبقه‌بندی خاک کانادا در جدول ۱- B تشریح شده است و راسته‌ها و بعضی گروه‌های بزرگ با رده‌بندی خاک آمریکایی در جدول ۲- B مقایسه شده است.

جدول ب۱: خلاصه تشریح اجمالی رده‌های خاک در نظام طبقه‌بندی خاک کانادا

Brunisolic : خاک‌ها با تکامل کافی برای جداکردن آن‌ها از خاک‌های رده رگوسل اما فاقد میزان و نوع افق تکاملی خاص سایر رده‌ها می‌باشد.

Chernozemic : خاک‌ها با درصد اشباع بازی بالا و افق‌های سطحی که در اثر تراکم ماده آلی حاصل از تجزیه چمن‌زارها و یا جنگل تیره رنگ شده اند.

Cryosolic : خاک‌ها که از مواد آلی و یا معدنی شکیل شده و دارای یخ‌بندان دایم در عمق یک متری از از سطح و یا دو متری از سطح وقتی ۱/۳ خاکرخ دچار تغییرات ناشی از یخ‌بندان مانند افق‌های جدا شده مخلوط و یا شکسته شده باشد.

Gelysolic : خاک‌هایی که دارای دوره‌های اشباع طولانی (ماتلینگ و گلی) با آب و شرایط احیاء می‌باشند.

Luvisolic : خاک‌ها با افق کم‌رنگ آبشویی شده که دارای افق‌هایB تمرکز مواد می‌باشند که در آن رس‌های سیلیکاتی تجمع یافته‌اند.

Organic : خاک‌های عالی که بر روی پیت و لاشبرگ خوب تجزیه شده و یا تجزیه نشده تکامل یافته است.

Podzolic : خاک‌ها با افق B که در آن تمرکز غالب با مواد بی‌شکل عمدتاً مرکب از مواد آلی هموسی شده همراه با مقادیر مختلف Fe , Al می‌باشد.

REGOSOLIC : خاک‌های ضعیف تکامل‌یافته که فاقد افق‌های ژنتیکی می‌باشند.

Solonetzic : خاک‌هایی که برروی مواد مادری شور (اغلب غنی از سدیم) یافت شده و دارای افق B که در هنگام خشکی بسیار سـخت و در هنگـام خیـسی انبساط یافته به یک توده چسبده با نفوذپذیری اندک تبدیل می‌شود، افق B خاک‌هایی قلیایی به طور شاخص دارای ساختمان درشت ستونی و یا منشوری بوده که به واحدهای ساختمانی مکعبی سخت و خیلی سخت با پوشش تیره شکسته می‌شوند.

Vertisolic : خاک‌ها با مقادیر زیاد رس‌های قابل انبساط که دارای ترک‌های بزرگی در فصل خشک سال و شواهد انبساط خاک مانند گیلگایی و یا سطوح براق می‌باشند.

جدول ب۲: مقایسه رده‌بندی خاک آمریکایی با طبقه‌بندی خاک کانادا

توجه داشته باشید به‌دلیل معیارهای مرزبندی بین دو نظام بعضی از راسته‌های رده‌بندی خاک آمریکا دارای بیشتر از یک راسته خاک معادل در نظام طبقه‌بندی کانادا می‌باشند.

نظام آمریکایی راسته خاک	نظام کانادایی راسته خاک	نظام کانادایی گروه بزرگ	رده‌های سطح پائین معادل در رده‌بندی آمریکا
Alfisols	Luvisolic	Gray Brown luvisols Gray Luvisols	Hapludalfs Haplocryalfs/Eutrocryalfs/Fragudalfs glossocryalfs Palecryalfs, ustalfs, udalfsو زیر گروه‌های
--	Solonetzic	Solonetz Solod	Natrudalfs/Natrustalfs Natraqualfs/ Natrudalfs, Natrustalfs Glossicو زیر گروه‌های
Andisols Aridisols Entisols	Cryosolic,Brunisolic Solonetzic Regosolic	-- -- Rgosol	Natrargidsاز Frigid خانواده‌های Aqnentsباستثنای Entisols و خانواده‌های فریجید Cryic گروه‌های بزرگ Psamments,Orthents,Fluents,Folists " " " "
Gelisols	Cryosolic	Turbic Cryosol Organic Cryosol Stagnic Cryosol	Turbels Histels Orthels
Histosols	Organic	Fibrisol Mesisol Humisol	Cryofibrists, Sphgnofibrists Cryohemists Cryosaprists
Inceptisols	Brunisolic Gleysolic	Melanic Brunisol Eutric Brunisol Sombric Brunisol Dystric Brunisol	Eutrusteptsبعضی از Haplustept..mesic,Frigidوفامیل‌های Crypts زیر گروه‌های Humic Dystrudepts,Ustepts,Udeptsفامیل‌های فریجید و مزیک Dystrocryepts,Dystrodeptsفامیل‌های فریجید Aquepts,Aguolls,Aqualfs;Frigidو فامیل‌های Cryic زیر گروه‌های Aquods,Aquents
Oxisols	در کانادا وجود ندارد		
Spodosols	Podzolic	Humic podzol Ferro-Humic pedozol Humo-Ferric Podzol	Placohomods Hhumic Placocryods, Humicryods Humods و خانواده‌های Placorthodsو فامیل‌های فریجید Placorthodsبعضی از humic Haplocryods , Orthodsسایر humic زیر گروه‌های Frigid و فامیل‌های Orthodsفامیل‌های فریجید سایر Placorthods, Haplorthods, به استثنای زیر گروه‌های هومیک Cryodsو
Ultisols	در کانادا وجود ندارد		
Vertisols	Vertisolic	Vertisol Humic	Haplocryerts Humicryerts

نظام طبقه‌بندی FAO :

یک راهنمای نقشه خاک‌های جهان است که توسط فائو و یونسکو تهیه شده است . تشریح اجمالی FAO نظام طبقه‌بندی آمده است. و واژه‌های نقشه فایو توسط بسیاری از محققین در سرتاسر جهان برای تشریح B واحد نقشه در جدول ۳- B خاک‌های مختلف بکار می‌رود. پایگاه‌های اطاعاتی جهانی و منطقه‌ای خاک اغلب برحسب این سیستم تنظیم شده است، خصوصیات قابل‌تشخیص واژه‌های به‌کاررفته به مقدار زیادی از نظام طبقه‌بندی خاک روسی و همین‌طور آمریکایی به عاریه گرفته شده است.

جدول ب۳: واحدهای نقشه خاک فائو – یونسکو در نقشه خاک جهان

Acrisols خاک‌ها با باز پایین با افق ارجلیک

Andosols خاک‌های تشکیل‌شده از خاکستر آتشفشانی که دارای سطح تیره می‌باشد.

Arenosols خاک‌های تشکیل شده از شن

Combisols خاک‌های با تغییرات اندک رنگ ، ساختمان و پایداری در اثر هوادیدگی .

Chernozems خاک‌ها با سطح تیره و هموس بالا در زیر گیاهان علف‌زار

Cryosols خاک‌های اقلیم سرد با یخ‌بندان دایمی

Ferralsols خاک‌های خیلی هوازده با رس‌های غنی از اکسیدها.

Fluvisols خاک‌های ته‌نشین‌شده در آب با تغییرات اندک.

Gleysols خاک‌ها با نقاط و یا افق‌های احیاء شده به خاطر خیس‌شدن.

Greyzems خاک‌ها با سطح تیره و افق E آبشویی شده و افق B با بافت متفاوت

Histosols خاک‌های آلی

Kastanozems خاک‌ها با رنگ بلوطی در سطح و با پوشش گیاهان استپی

Lithosols خاک‌های کم عمق بر روی سنگ سخت

Luvisols خاک‌ها با مواد بازی متوسط تا زیاد و افق ارجلیک

Nitosols خاک‌ها دارای رس‌های با CEC کم در افق ارجیک

Planosols خاک‌ها مرز بسیار متمایز در افق‌های A وB

Phaeozems خاک‌ها با سطح تیره و آبشویی بیشتر از **Kastanozem** و **Chernozems**

Podzols خاک‌ها با افق روشن آبشویی شده و تراکم آهن ، آلومنیوم و هموس در تحت‌الارض

Podzoluvisols خاک‌ها با افق آبشویی شده که به شکل زبانه در داخل افق ارجلیک نفوذ کرده است.

Rankers خاک‌های کم‌عمق بر روی مواد سیلیسی

Regosols خاک‌های کم‌عمق در روی مواد نامتراکم

Rendzinas خاک‌های کم‌عمق بر روی سنگ آهک

Solonchaksخاک‌ها با تجمع نمک‌های محلول

Solonetz خاک‌ها با درصد سدیم زیاد

Vertisols خاک‌های غنی از رس مونت‌موریلونیت که خاکرخ آن در حال زیرورو‌شدن بوده و خود خاک‌پوش می‌باشند.

Xerosols خاک‌های خشک مناطق نیمه‌خشک

Yermosols خاک‌های بیابانی

ضمیمه ج : تبدیل واحدهای غیر SI به واحدهای SI[(۱)]

واحدهای غیر SI	ضریب	واحدهای SI
طول		
اینچ inch,in	۲/۵۴	سانتیمتر $cm(10^{-2}m)$
فوت foot,ft	۰/۳۰۴	متر meter,m
مایل mile,mi	۱/۶۰۹	کیلومتر $km(10^{3}m)$
میکرون micron,µ	۱	میکرومتر $\mu m(10^{-6}m)$
آنگستروم Angstrom, Å	۰/۱	نانومتر $nm(10^{-9}m)$
سطح		
اکر acre ,ac	۰/۴۰۵	هکتار $ha(10^{4}m^{2})$
فوت مربع ft^2	$۹/۲۹\times ۱۰^{-۲}$	متر مربع m^2
اینچ مربع in^2	۶۴۵	میلیمتر مربع mm^2
مایل مربع mi^2	۲/۵۹	کیلومتر مربع km^2
حجم		
بوشل bushel,bu	۳۵/۲۴	لیتر L
فوت مکعب ft^3	$۲/۸۳\times ۱۰^{-۲}$	مترمکعب m^3
اینچ مکعب $1n^3$	$۱/۶۴\times ۱۰^{-۵}$	متر مکعب m^3
گالن U.S., gal	۳/۷۸	لیتر L
کوارت quart,qt	۰/۹۴۶	لیتر L
اکر فوت ac-ft	۱۲/۳۳	هکتار سانتیمتر ha-cm
اکر اینچ ac-in	$۱/۰۳\times ۱۰^{-۲}$	هکتار متر ha-m
انس oz(fluid)	$۲/۹۶\times ۱۰^{-۲}$	لیتر L
پینت pint,pt	۰/۴۷۳	لیتر L
جرم		
اونس ounce,oz	۲۸/۴	گرم g
پوند Pound,Lb	۰/۴۵۴	کیلوگرم $kg(10^{3}g)$
تن ton(۲۰۰۰Lb)	۰/۹۰۷	مگاگرم $Mg(10^{6}g)$
تن tonne,t	۱۰۰۰	کیلوگرم kg
پرتوزایی		
کوری curie,ci	$۳/۷\times ۱۰^{۱۰}$	بکرل Becquerel,Bq
پیکوکوری در گرم Pci/g	۳۷	بکرل در کیلوگرم Bq/kg

واحدهای غیر SI	ضریب	واحدهای SI
عملکرد و سرعت		
بوشل در ایکر(۶۰ پوند) bu/ac	۶۷/۱۹	کیلوگرم در هکتار kg/ha
بوشل در ایکر(۵۶ پوند) bu/ac	۶۲/۷۱	کیلوگرم در هکتار kg/ha
بوشل در ایکر(۴۸ پوند) bu/ac	۵۳/۷۵	کیلوگرم در هکتار kg/ha
گالن در ایکر(امریکایی) gal/ac	۹/۳۵	لیتر در هکتار L/ha
تن در ایکر ton/ac	۲/۲۴	مگاگرم در هکتار Mg/ha
مایل در ساعت mph	۰/۴۴۷	متر در ثانیه m/s
گالن در دقیقه gpm	۰/۲۲۷	متر مکعب در ساعت m^3/h
فوت مکعب در ثانیه cfs	۱۰۱/۹	متر مکعب در ساعت m^3/h
فشار		
اتمسفر atm	۰/۱۰۱	مگاپاسکال $Mpa(10^{6}pa)$
بار bar	۰/۱	مگاپاسکال Mpa
پوند در فوت مربع lb/ft^2	۴۷/۹	پاسکال pa
پوند در اینچ مربع lb/in^2	$۶/۹\times ۱۰^{۳}$	پاسکال pa
دما		
درجه فارنهایت $^{o}F-32$	۰/۵۵۶	درجه سانتی‌گراد ^{o}C
درجه سلسیوس $^{o}C+273$	۱	کلوین K
انرژی		
واحد گرمایی انگلیسی Btu	$۱/۰۵\times ۱۰^{۳}$	ژول j
کالری cal	۴/۱۹	ژول j
دین dyn	$۱۰^{-۵}$	نیوتن N
ارگ erg	$۱۰^{-۷}$	ژول j
فوت پوند frlb	۱/۳۶	ژول j
غلظت		
درصد ٪	۱۰	گرم در کیلوگرم g/kg
قسمت در میلیون ppm	۱	میلی‌گرم در کیلوگرم mg/kg
میلی اکیوالنت در ۱۰۰ گرم	۱	سانتی‌مول‌درکیلوگرم cmol/kg

(۱) برای تبدیل واحدهای SI به غیر SI اعداد مربوطه را بر ضریب آن تقسیم نمایید.

Periodic Table of the Elements with Notes Concerning Relevance to Soil Science

Based on atomic mass of $^{12}C = 12.0$. Numbers in parentheses are the mass numbers of the most stable isotopes of radioactive elements.

Group IA	Group IIA	Group IIIB	Group IVB	Group VB	Group VIB	Group VIIB	Group ←	Group VIIIB	Group →	Group IB	Group IIB	Group IIIA	Group IVA	Group VA	Group VIA	Group VIIA	Group VIIIA
1 H 1.01 Hydrogen																	2 He 4.00 Helium
3 Li 6.94 Lithium	4 Be 9.01 Beryllium											5 B 10.81 Boron	6 C 12.01 Carbon	7 N 14.01 Nitrogen	8 O 16.00 Oxygen	9 F 19.00 Fluorine	10 Ne 20.18 Neon
11 Na 22.99 Sodium	12 Mg 24.30 Magnesium											13 Al 26.98 Aluminum	14 Si 28.09 Silicon	15 P 30.97 Phosphorus	16 S 32.07 Sulfur	17 Cl 35.45 Chlorine	18 Ar 39.95 Argon
19 K 39.10 Potassium	20 Ca 40.08 Calcium	21 Sc 44.96 Scandium	22 Ti 47.88 Titanium	23 V 50.94 Vanadium	24 Cr 52.00 Chromium	25 Mn 54.94 Manganese	26 Fe 55.85 Iron	27 Co 58.93 Cobalt	28 Ni 58.69 Nickel	29 Cu 63.55 Copper	30 Zn 65.38 Zinc	31 Ga 69.72 Gallium	32 Ge 72.59 Germanium	33 As 74.92 Arsenic	34 Se 78.96 Selenium	35 Br 79.90 Bromine	36 Kr 83.80 Krypton
37 Rb 85.47 Rubidium	38 Sr 87.62 Strontium	39 Y 88.91 Yttrium	40 Zr 91.22 Zirconium	41 Nb 92.91 Niobium	42 Mo 95.94 Molybdenum	43 Tc (98) Technetium	44 Ru 101.07 Ruthenium	45 Rh 102.91 Rhodium	46 Pd 106.42 Palladium	47 Ag 107.87 Silver	48 Cd 112.41 Cadmium	49 In 114.82 Indium	50 Sn 118.71 Tin	51 Sb 121.75 Antimony	52 Te 127.60 Tellurium	53 I 126.90 Iodine	54 Xe 131.29 Xenon
55 Cs 132.91 Cesium	56 Ba 137.33 Barium	57 La 138.91 Lanthanum	72 Hf 178.49 Hafnium	73 Ta 180.95 Tantalum	74 W 183.85 Tungsten	75 Re 186.21 Rhenium	76 Os 190.2 Osmium	77 Ir 192.22 Iridium	78 Pt 195.08 Platinum	79 Au 196.97 Gold	80 Hg 200.59 Mercury	81 Tl 204.38 Thallium	82 Pb 207.2 Lead	83 Bi 208.98 Bismuth	84 Po (209) Polonium	85 At (210) Astatine	86 Rn (222) Radon
87 Fr (223) Francium	88 Ra (226) Radium	89 Ac (227) Actinium	104 Unq (261) Unnilquadium	105 Unp (262) Unnilpentium	106 Unh (263) Unnilhexium	107 Uns (262) Unnilseptium	108 Uno (265) Unniloctium										

Metals ← → Nonmetals

58 Ce 140.12 Cerium	59 Pr 140.91 Praseodymium	60 Nd 144.24 Neodymium	61 Pm (145) Promethium	62 Sm 150.36 Samarium	63 Eu 151.96 Europium	64 Gd 157.25 Gadolinium	65 Tb 158.93 Terbium	66 Dy 162.50 Dysprosium	67 Ho 164.93 Holmium	68 Er 167.26 Erbium	69 Tm 168.93 Thulium	70 Yb 173.04 Ytterbium	71 Lu 174.97 Lutetium
90 Th (232) Thorium	91 Pa (231) Protactinium	92 U (238) Uranium	93 Np (237) Neptunium	94 Pu (244) Plutonium	95 Am (243) Americium	96 Cm (247) Curium	97 Bk (247) Berkelium	98 Cf (251) Californium	99 Es (252) Einsteinium	100 Fm (257) Fermium	101 Md (258) Mendelevium	102 No (259) Nobelium	103 Lr (260) Lawrencium

Key: 87 — Atomic number; Fr — Symbol; (223) — Atomic mass; Francium

- Elements known to be nutrients for animals or plants. Some are also toxic in excessive amounts.
- Elements toxic to organisms in small amounts, and not known to serve as nutrients.
- Other elements commonly studied in Soil Science because of soil-environmental impacts or because of their use as tracers or electrodes. (Br is used to trace anionic solutes such as nitrate. Isotopes of Rb and Sr are used to trace K and Ca in plants and soils. Cs and Ti are used to trace geological processes such as soil erosion. Pt and Ag are used in electrodes for measuring soil redox potential and pH, respectively.)

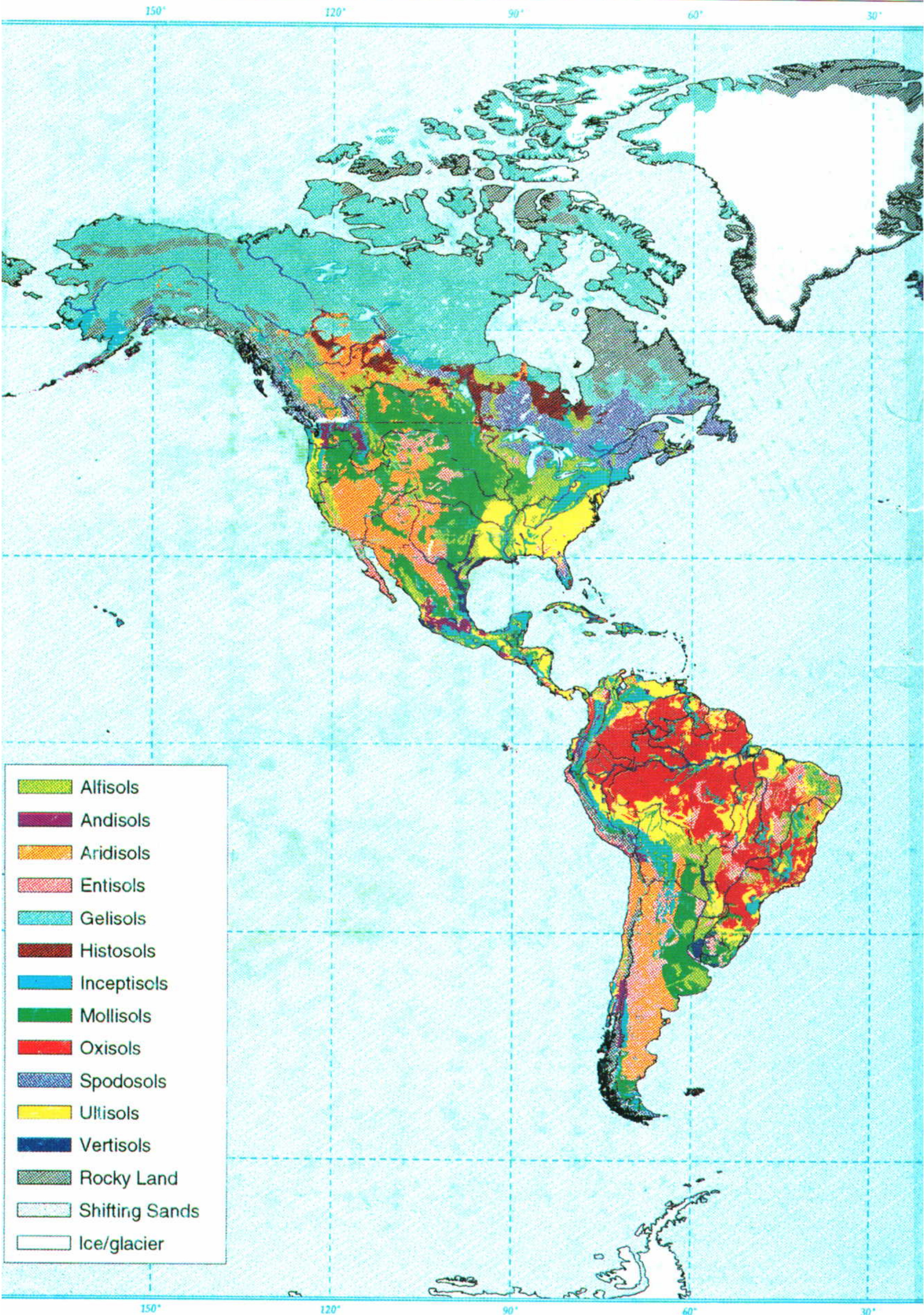
ions


30°
60°
90°
120°
150°
Miller Projection
SCALE 1:100,000,000
0 500 1,000 2,000 3,000 4,000 5,000 6,000 7,000 8,000
KILOMETERS

Ma

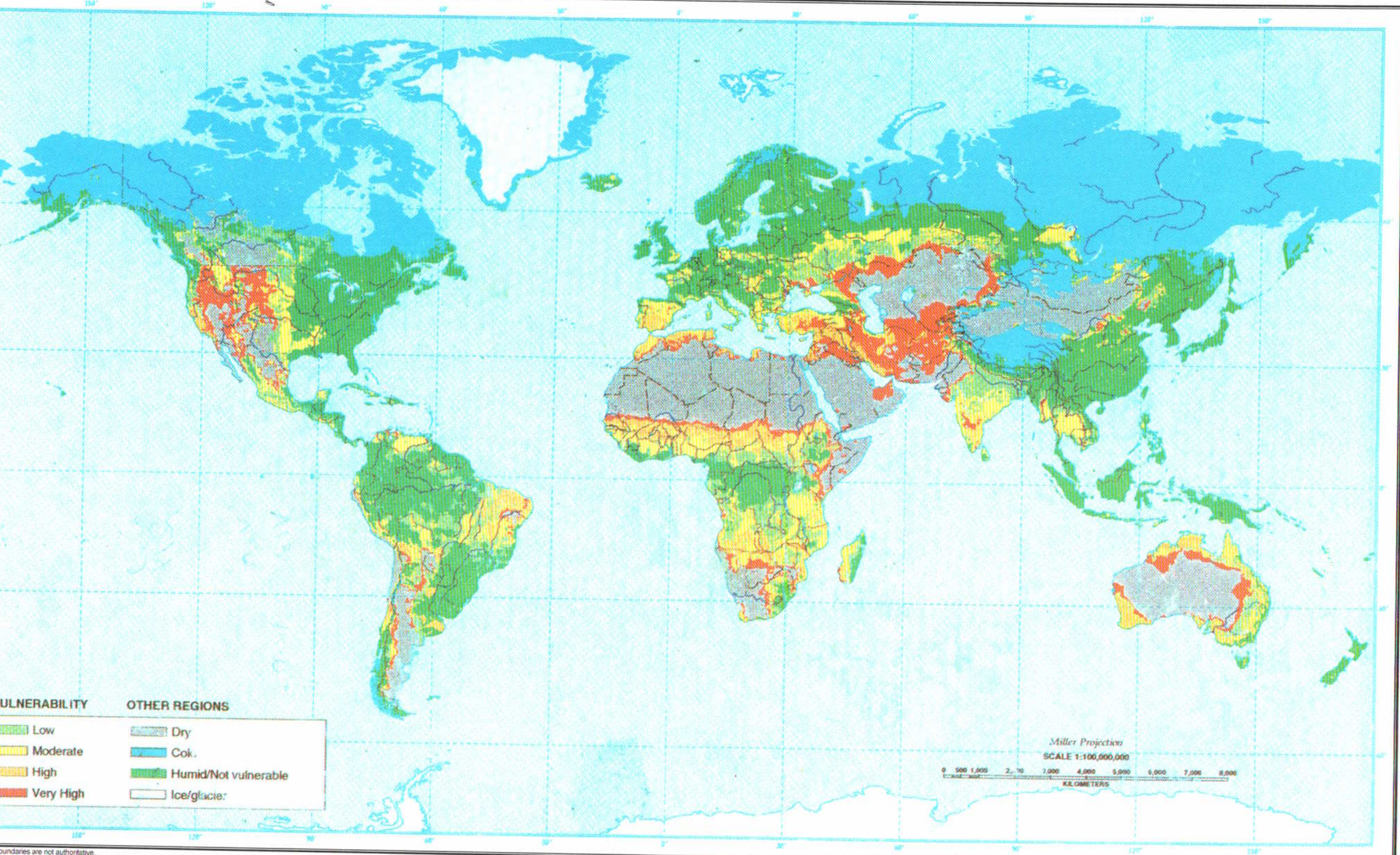
.S. Dept. of Agriculture
Natural Resources Conservation Service
Soil Survey Division
World Soil Resources

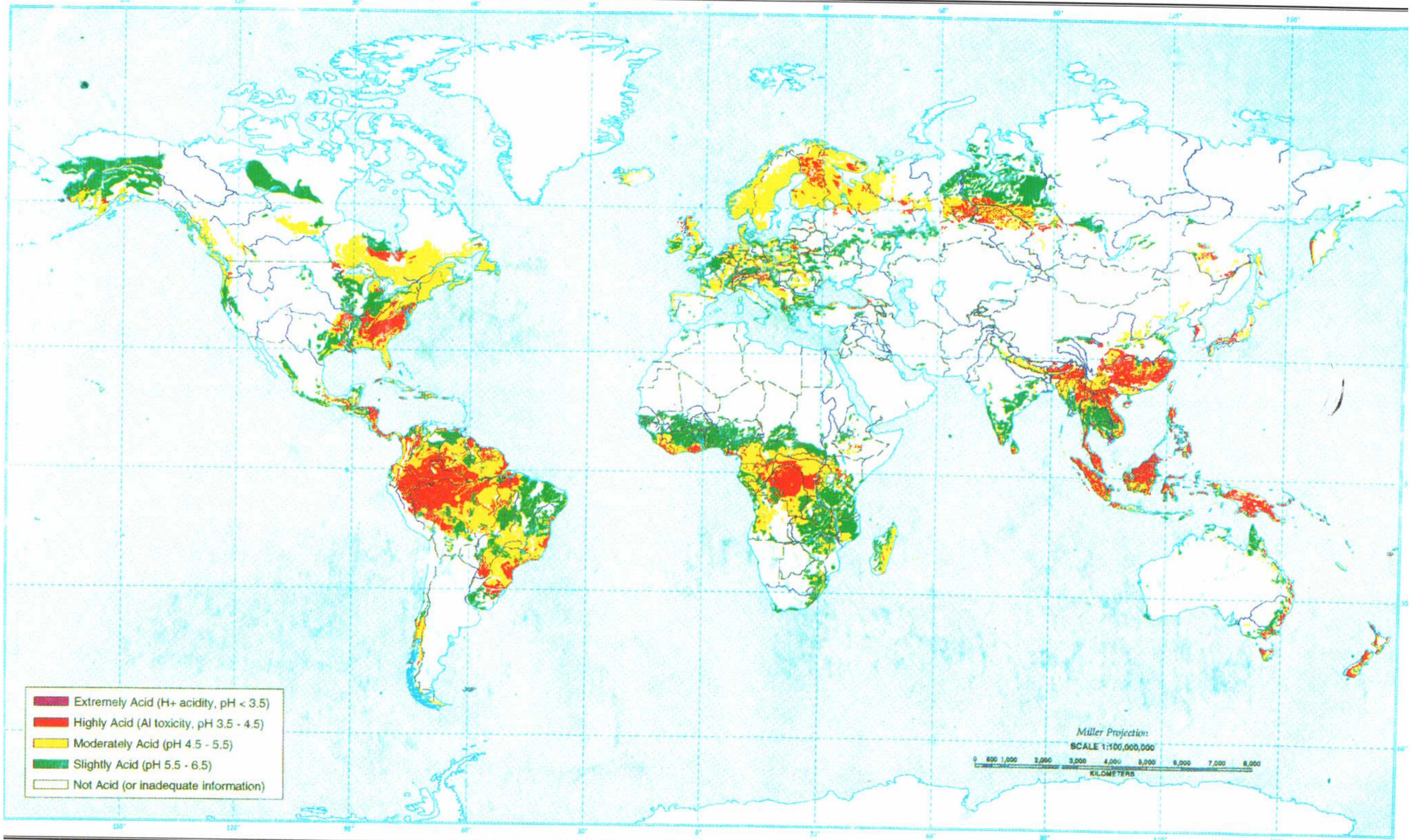
Glob



untry boundaries are not authoritative.

Global Desertification Vulnerability




U.S. Dept. of Agriculture
Natural Resources Conservation Service
Soils Division
World Soil Resources
Global Distribution of Acid Soils
Extremely Acid (H+ acidity, pH < 3.5)
Highly Acid (Al toxicity, pH 3.5 - 4.5)
Moderately Acid (pH 4.5 - 5.5)
Slightly Acid (pH 5.5 - 6.5)
Not Acid (or inadequate information)
Miller Projection
SCALE 1:100,000,000
0 500 1,000 2,000 3,000 4,000 5,000 6,000 7,000 8,000
KILOMETERS
Country boundaries are not authoritative